**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Parametrização e validação de um modelo de estimativas das exigências e do
desempenho de gado de corte**

Beatriz Motta Hoffmann

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba
2007**

Beatriz Motta Hoffmann
Engenheiro Agrônomo

**Parametrização e validação de um modelo de estimativas das exigências e do desempenho
de gado de corte**

Orientador:
Prof. Dr. **DANTE PAZZANESE LANNA**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Hoffmann, Beatriz Motta

Parametrização e validação de um modelo de estimativas das exigências e do desempenho de gado de corte / Beatriz Motta Hoffmann. - - Piracicaba, 2007.
112 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Bovino de corte 2. Confinamento animal 3. Metabolismo animal 4. Modelos matemáticos 5. Nutrição animal I. Título

CDD 636.213

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais Hermann e Celeste
Pela dedicação, confiança, amor e apoio incondicional.

Aos meus irmãos Hermann e Isabel
Por fazerem parte da minha maravilhosa família.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Dante Pazzanese D. Lanna pela oportunidade oferecida, pela confiança depositada e pelos conhecimentos compartilhados durante o Mestrado.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal: Amoracyr, Andrea, Eduardo, Laudi, Liris, Mariana, Patrícia, Raphael, Rodrigo Goulart e Tiago. Às funcionárias: Tuka e Nice. Em especial ao Rodrigo de Almeida por todo o aprendizado e base fornecida para o meu Mestrado e à Liana pela ajuda, amizade e tempo disponibilizado.

Ao Prof. José Vicente Caixeta e toda sua equipe do Departamento de Economia da ESALQ pelos ensinamentos obtidos e pela acolhida durante meus estudos de programação linear.

Ao programador Nelson Nepomuceno que assumiu comigo o desafio da implementação do software no qual este modelo foi inserido.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela importância na minha formação tanto na graduação como na pós-graduação.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Aos confinamentos do Grupo Marca e Höfig pela cessão dos bancos de dado que deram origem às validações de dados comerciais.

As amigas feitas em Piracicaba e que levarei para sempre comigo: Camila, Daniela Ferreira, Daniela Figueiredo, Karina, Lyza, Mariana (Q-tuti) e Tatiana.

Ao Guilherme pelo apoio, incentivo, e principalmente, por sempre me fazer sentir capaz.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Introdução.....	14
2.2 O processo de tomada de decisão	14
2.3 Sistemas de produção animal	16
2.4 Modelagem de sistemas de produção animal	18
2.5 Modelos empíricos e mecanicistas.....	19
2.6 Modelos estáticos e dinâmicos.....	21
2.7 Modelos de crescimento animal.....	22
2.8 Implementação de modelos computacionais de simulação.....	25
2.9 Avaliação de modelos computacionais de simulação de cálculo das exigências e do desempenho animal.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Descrição do modelo.....	30
3.1.1 Estimativa do ganho de peso, consumo voluntário de matéria-seca e exigências nutricionais de bovinos de corte.....	30
3.1.2 Valor energético dos alimentos.....	31
3.1.3 Exigência de energia para manutenção.....	33
3.1.4 Consumo para manutenção.....	36
3.1.5 Consumo de matéria-seca	36
3.1.5.1 A nova equação de predição de consumo para bovinos Nelore.....	40
3.1.5.2 Fatores de ajuste nas equações de consumo.....	41
3.1.6 Consumo para ganho.....	45
3.1.7 Energia líquida para ganho disponível	45
3.1.8 Ganho de peso.....	46
3.1.9 Eficiência de conversão de proteína metabolizável em proteína líquida.....	48
3.1.10 Exigência de proteína metabolizável para manutenção.....	49
3.1.11 Exigência de proteína metabolizável para ganho.....	49
3.1.12 Exigência de proteína metabolizável.....	49

3.1.13 Produção microbiana.....	50
3.1.14 Suprimento de proteína metabolizável do alimento.....	50
3.1.15 Exigência de proteína bruta total.....	51
3.1.16 Exigência de proteína bruta em porcentagem.....	51
3.1.17 Exigência de proteína degradável no rúmen.....	52
3.1.18 Exigência de fibra.....	53
3.1.19 Exigências de macrominerais.....	53
3.1.20 Exigências de microminerais.....	56
3.2 Estimativa do desempenho econômico	56
3.2.1 Estimativa da eficiência alimentar da dieta.....	56
3.2.2 Estimativa do custo diário por cabeça.....	57
3.2.3 Estimativa do custo do ganho por arroba.....	57
3.3 Validação do modelo.....	58
3.3.1 Dados experimentais.....	58
3.3.2 Dados comerciais.....	68
3.3.2.1 Introdução.....	68
3.3.2.2 Descrição da dieta.....	69
3.3.2.3 Edição dos dados brutos.....	70
3.4 Execução da validação.....	72
3.5 Análises estatísticas.....	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1 Resultados das validações experimentais.....	75
4.2 Resultados das validações comerciais.....	80
4.2.1 Validação da predição de CMS.....	81
4.2.2 Validação da predição de GPDj.....	91
4.2.3 Validação da predição de GPDj em duas etapas.....	100
4.2.4 Predição de GPDj contabilizando as perdas no cocho.....	101
5 CONCLUSÕES.....	102
REFERÊNCIAS.....	103

RESUMO

Parametrização e validação de um modelo de estimativa das exigências e do desempenho de gado de corte

Embora existam modelos de simulação para estimativa das exigências nutricionais e do desempenho de bovinos de corte, como o National Research Council – NRC (1996), esses foram desenvolvidos para condições específicas do país de origem. O Brasil não possui publicações com informações completas e atualizadas sobre exigências nutricionais, estimativa de desempenho e recomendações de alimentação para ruminantes. Outra limitação é que não há integração das recomendações com ferramentas de otimização e simulação de programas nutricionais. O objetivo deste trabalho foi parametrizar e validar um modelo baseado no sistema californiano de energia líquida, incorporando recentes resultados de pesquisa com animais zebuínos, aplicáveis às condições brasileiras. Após a inclusão de equações e alterações de parâmetros, o modelo proposto foi avaliado de duas formas: a partir de resultados experimentais independentes e, a partir de resultados obtidos em confinamentos comerciais do Brasil Central. A acurácia e a precisão do modelo foram testadas comparando o consumo de matéria seca (CMS) e o ganho de peso em jejum (GPDj) preditos pelo modelo aos valores observados. Regressões lineares foram traçadas entre valores preditos e observados e os resíduos foram descritos em função de algumas variáveis. Para predição de CMS e GPDj em situações experimentais os coeficientes de determinação (R^2) foram 67,9 e 48,7%, respectivamente. Neste contexto, quando se tem total controle da alimentação e homogeneidade dos animais no lote, o modelo prediz satisfatoriamente o desempenho. Na análise de regressão do CMS de animais inteiros de confinamentos comerciais os R^2 de 85,0 e 74,0% para mestiços e Nelores, respectivamente são relativamente altos frente a grande variabilidade dos animais comerciais brasileiros, principalmente quanto à idade e nutrição prévia. A estimativa do CMS de castrados obteve coeficientes de determinação mais baixos (R^2 de 62,4% para mestiços). Os erros destas predições parece estarem associados à não contabilização das perdas de alimento no cocho as quais não foram mensuradas como também à falta de dados que representem o crescimento compensatório e o tamanho corporal, já que no banco de dados estas variáveis não estavam adequadamente descritas. Na predição de GPDj em confinamento comercial, o modelo mostrou uma tendência de superestimação que se deve provavelmente ao fato do mesmo ter sido estimado a partir de um CMS observado que não é de fato o real por não levar em conta as perdas de alimentos. O modelo não estimou de forma fiel o desempenho de animais menos eficientes, que geralmente são mantidos por mais tempo, ganhando menos peso e provavelmente depositando mais gordura na carcaça. Este erro pode ser explicado porque embora o animal inicie o confinamento em crescimento compensatório, em confinamentos muito longos, na segunda parte do período de alimentação os animais efetivamente já não apresentam mais compensação. Isto sugere que a simulação deve ser feita em duas etapas. Em resumo, a menor eficiência nas predições de dados comerciais parece estar relacionada à falhas na descrição do ganho compensatório, avaliação do tamanho corporal e não contabilização das perdas de alimento no cocho.

Palavras-chave: Exigências; Modelo; Ganho de peso; Consumo

ABSTRACT

Parametrization and validation of a model to estimate the requirements and performance of beef cattle

Although simulation models to estimate the nutritional requirements and the performance of beef cattle exist (e.g. National Research Council – NRC, 1996), these have been developed mostly for temperate conditions and European cattle. There are no update publications with information on nutritional requirements and feeding recommendations for ruminants. The objective of this study was to parametrize and then validate a model based on the California net energy system, and incorporate recent results of research with *Bos indicus* (mostly Nellore) cattle and tropical feeds. After the inclusion of new equations (e.g. for feed intake) and new equation parameters, the resulting model was evaluated in two manners: first using independent experimental results and, later using results obtained in commercial feedlots of Brazil (from the central region). The accuracy and the precision of the model were tested getting the model predicted dry matter intake (DMI) and shrunk daily weight gain (SDWG) and comparing these with observed values. Linear regressions between predicted and observed values and the residues of predicted less observed were plotted and described as a function of certain variables. The model predicted DMI and SDWG in experimental situations with R^2 of 67,9 and 48,7%, respectively. For the regression analysis of DMI from commercial feedlots results the R^2 were of 85,0 and 74,0% for crossbred and Nellore bulls, respectively. However for steers the model predictions were less efficient with R^2 of 62,4% for crossbred. The lower efficiency of these predictions seems to be associated to large variability in frame score and the intensity of the compensatory growth, since these variables were not adequately described in our data. A better description of the animals may improve the potential of the model to estimate gain and feed intake. Additionally, the orts were not collected, and this may suggest that the observed DMI were not in fact the real DMI. In the prediction of gains in commercial feedlots, the model tended to overestimate probably because these predictions were calculated from the observed DMI, which do not incorporate the orts. The model did not estimate well the long-term performance of animals which grew slower and had to be fed longer. These animals tend to gain less weight and deposit more fat. This can be explained because compensatory growth is a short-term event, and animals fed longer do not express compensatory growth during the second half of the feeding period. This suggests that the simulation must be made in two stages. The lower efficiency of the predictions for commercial data seems to be related to the imperfections in the description of compensatory growth, in the evaluation of frame size and in not accounting of the orts on the feeders.

Keywords: Intake; Model; Requirements; Weight gain

LISTA DE ABREVIATURAS

CA – Conversão Alimentar
CEG – Conteúdo Energético do Ganho
CMS – Consumo de Matéria Seca
ED – Energia Digestível
EE – Extrato Etéreo
EELm – Exigência de Energia Líquida para Manutenção
EEMm – Exigência de Energia Metabolizável para Manutenção
EfAlim – Eficiência Alimentar
EL – Energia Líquida
ELg – Energia Líquida para Ganho
ELgdisp – Energia Líquida para Ganho Disponível
ELm – Energia Líquida para Manutenção
EM – Energia Metabolizável
ER – Energia Retida
FDN – Fibra insolúvel em Detergente Neutro
FDNfe – Fibra insolúvel em Detergente Neutro Fisicamente Efetiva
GEC – Grau de Estrutura Corporal
GMD – Ganho Médio Diário
GPTj – Ganho de Peso em Jejum Total do período
GPDj – Ganho de Peso Diário em Jejum
IEL – Ingestão de Energia Líquida
IEM – Ingestão de Energia Metabolizável
kg – Eficiência de Ganho
MS – Matéria Seca
NFDA – Nitrogênio ligado à Fibra Detergente Ácida
NDT – Nutrientes Digestíveis Totais
NDTcorr – Nutrientes Digestíveis Totais Corrigido
NNP – Nitrogênio Não Protéico
PB – Proteína Bruta
PDR – Proteína Degradável no Rúmen

PL – Proteína Líquida
PNDR – Proteína Não Degradável no Rúmen
PM – Proteína Metabolizável
PMmant – Proteína Metabolizável para Manutenção
PMganho – Proteína Metabolizável para Ganho
PMtotal – Proteína Metabolizável Total
PV – Peso Vivo
PVe_q – Peso Vivo Equivalente
PVF_j – Peso Vivo Final em Jejum
PVI_j – Peso Vivo Inicial em Jejum
PVM_j – Peso Médio em Jejum
PV_j – Peso Vivo em Jejum
Prod Microb – Produção Microbiana
 R^2 – Coeficiente de Determinação
RC_f – Rendimento de Carcaça Final
RC_g – Rendimento de Carcaça do Ganho
RC_i – Rendimento de Carcaça Inicial

1 INTRODUÇÃO

A maximização da eficiência da utilização de alimentos é fundamental para o sucesso econômico do produtor. A implantação de sistemas mais lucrativos e ecologicamente adequados, harmonicamente inseridos na cadeia produtiva e contexto social, depende dos recursos e tecnologias disponíveis e também da gerência desses meios. Portanto, existe demanda por métodos eficazes de análise que permitam a avaliação quantitativa do impacto de diferentes recursos e tecnologias em situações específicas. Tais análises dependem por sua vez da capacidade de previsão permitida pelo conhecimento científico existente.

Modelos matemáticos contribuem na avaliação de novas tecnologias, previsão e avaliação quantitativa do comportamento dos sistemas de produção submetidos sob diversas condições. Modelos matemáticos permitem, adicionalmente, uma abrangência espaço-temporal muitas vezes inviável à pesquisa experimental.

A formalização das fases de planejamento, monitoramento e controle no ciclo administrativo, sendo implantados em sistemas de produção comerciais, produzem a oportunidade para sistemas de apoio à tomada de decisão, baseados em modelos matemáticos, tornarem-se importante veículo de difusão de conhecimento científico, aumentando o impacto da pesquisa sobre o sistema de produção.

A produção de bovinos possui flexibilidade ímpar na utilização de pacotes tecnológicos, insumos e intensidades de uso de terra e capital, como na capacidade de integração destes. O uso da prática de suplementação e confinamento vem se difundindo rapidamente no Brasil Central e tem contribuído para um aumento da produtividade e redução na sazonalidade de oferta e preços da carne bovina no mercado. Entretanto para a redução da estacionalidade de preços entre safra e entressafra, continuidade da difusão da prática de confinamento de bovinos de corte e aumento dos índices biológicos de produtividade, há necessidade de vantagem econômica desse sistema.

A otimização da eficiência econômica da nutrição de bovinos de corte requer modelos de nutrição e de crescimento animal que sejam capazes de prever a ingestão de alimento e o desempenho para as diferentes estratégias de ação possíveis para o produtor (BARIONI; TEDESCHI; LANNA, 1999). Para se desenvolver esses modelos há necessidade de se integrar resultados de pesquisa em diversas áreas ligadas à nutrição animal. A utilização de modelos matemáticos para microcomputadores parece ser a forma mais racional de se agregar estes

conhecimentos e desenvolver tais recomendações. Estes modelos permitem um contínuo aprimoramento a partir de novos resultados de pesquisa e de novas tecnologias, assim como uma expansão do modelo, abrangendo sub-modelos que também perfazem o sistema exploração, tornando-se uma ferramenta de gerenciamento mais completa e acessível.

O planejamento da atividade de engorda confinada de bovinos de corte inclui decisões complexas tais como o número de animais a confinar, quando iniciar o confinamento, qual o peso do animal no início do confinamento, formulação e balanceamento da ração e melhor data de venda dos animais. Para uma melhor combinação desses fatores são desenvolvidos modelos de simulação.

Modelos de simulação para estimativa das exigências nutricionais e desempenho utilizam-se de funções empíricas. Porém, essas funções devem ser apropriadas para a genética, para os alimentos e condições ambientais em questão. Condições específicas do sistema de produção requerem parametrização das funções para o desenvolvimento do sistema de apoio à tomada de decisão. Ou seja, um modelo só pode ser utilizado dentro da amplitude para a qual as equações e funções foram desenvolvidas. A integração destas equações que descrevem respostas empíricas é difícil, mas extremamente importante.

Embora existam modelos matemáticos bem definidos das respostas do sistema de produção de animais em confinamento como, por exemplo, os modelos do Institut National de la Recherche Agronomique – INRA (1989), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO (1990), Agricultural and Food Research Council – AFRC (1993), National Research Council – NRC (1996), esses modelos foram desenvolvidos para bovinos europeus submetidos a condições climáticas inerentes a cada país. O Brasil, que apesar de possuir um rebanho de 207 milhões de cabeças (FAO, 2005), não possui publicações em língua portuguesa com informações atualizadas e completas sobre exigências nutricionais, estimativa de desempenho e recomendações de alimentação para ruminantes.

O software RLM 2.0 – Ração de Lucro Máximo versão 2.0 (1999), é resultado de uma adaptação feita por pesquisadores da ESALQ/USP do modelo de exigências nutricionais e recomendações gerais de alimentação do CNCPS (FOX et al., 2003) e do NRC (1996). Este software calcula as exigências nutricionais uma vez descritos os animais e manejo, assim como otimiza dietas de custo mínimo atendendo as restrições de exigências e alguns parâmetros nutricionais. Assim pretendeu-se dar seguimento aos 20 anos de estudos e coleta de dados de

nutrição direcionados a modelagem do “Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal” (LNCA), adaptando um modelo de cálculo de exigências nutricionais e predição do desempenho de gado destinado a engorda, modelo este que será apresentado na seção 3. O modelo já encontra-se incorporado a um novo software, o RLM 3.0, através da interface com um segundo modelo matemático, o de otimização.

O presente trabalho continuou a adaptação de um modelo baseado no sistema californiano de energia líquida, incorporando recentes resultados de pesquisas, principalmente relacionados com: a menor exigência de manutenção de animais da raça zebuína; a nova equação de consumo de matéria seca proposta por ALMEIDA (2005) para animais zebuínos; a inclusão de ajustes que representem o efeito do crescimento compensatório que é muito importante no Brasil Pecuário, dentre outras alterações que serão apresentadas na seção 3.

Após a inclusão das adaptações, o modelo foi validado (seção 4) a partir de resultados experimentais independentes e a partir de resultados de confinamentos comerciais, coletados em projetos de parceria com a FEALQ, verificando-se a acurácia e a precisão das estimativas geradas para diferentes dietas, animais e condições de manejo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Computadores vêm se tornando parte integral do manejo de sistemas agropecuários (NUTHALL, 1992). A adoção de tecnologia nas fazendas está criando a oportunidade de aumentar a eficiência com dados, informações e conhecimento transferidos pelas universidades, instituição de pesquisa e companhias privadas aos fazendeiros e consultores. Tais dados precisam ser processados para se gerar informações proveitosas para a tomada de decisão. Tecnologia de softwares como base de dados, planilhas, sistemas de especialistas e modelos de simulação têm cada um uma maneira de participar no aumento da velocidade e da qualidade das decisões dentro das propriedades.

Modelos de simulação na agricultura é ainda um campo de controvérsias: aproximações e conceitos estão em constante mudança à medida que novas pesquisas em nível de campo em conjunção com novas tecnologias computacionais são desenvolvidas (SINCLAIR; SELIGMAN, 1996). Todavia, alguns conceitos estão se mostrando sólidos e a experiência na aplicação de diferentes tipos de modelos para problemas em propriedades rurais está em ascensão. Também é de grande importância a definição de como modelos de simulação e outras tecnologias baseadas na informática se ajustam na administração de propriedades agropecuárias. Sua função, e conceitos associados, modelos de simulação e outras técnicas utilizadas para o apoio a tomada de decisões na administração de propriedades rurais são revisados nessa seção.

2.2 O processo de tomada de decisão

A tomada de decisão é importante na administração de qualquer atividade, uma vez que, como descrito por Kay (1986), “administração é o processo de decisão no qual os recursos são alocados a um número de alternativas de produção de modo a atingir metas e objetivos em mente”.

A tomada de decisão foi considerada durante muito tempo como uma verdadeira arte, um talento, que ia sendo melhorado ao longo do tempo por meio do processo de aprendizado via tentativa e erro. Desta forma, o processo decisório era muito mais baseado na criatividade, julgamento, intuição e experiência do administrador do que em métodos analíticos e quantitativos com suporte científico (TURBAN, 1993).

Pratt (1986) e Stuth et al. (1991) sugerem que a tomada de decisão envolva a percepção e a avaliação de um problema de escolha entre cursos alternativos de ação. A identificação de cursos de ação que otimizem a alocação de recursos visando o atendimento de metas e objetivos em um sistema complexo nem sempre constitui tarefa trivial. Por exemplo, na produção animal a complexidade emerge, basicamente, da existência de componentes biológicos multicompartimentalizados que apresentam interações dinâmicas e que ainda sofrem influências de variáveis climáticas e de mercado que congregam elevado grau de risco e incerteza.

O problema de decisão surge, em primeiro plano, devido à existência de informação incompleta ao administrador sobre os resultados das alternativas existentes (BLACK; DENT, 1979). A informação completa sobre o futuro é impossível de ser obtida e, portanto, qualquer decisão envolve risco. Entretanto, o maior acesso a informação pode aumentar a eficiência na tomada de decisão (ANDERSON et al., 1977; TURBAN, 1988).

A análise de decisão envolve o processamento de dados de forma a destacar cursos de ação que possuem maior probabilidade de sucesso (TURBAN, 1995). Nesse contexto, sistemas de apoio à tomada de decisão podem ajudar no diagnóstico do problema, na previsão dos resultados de diferentes decisões e na escolha da melhor alternativa (Figura 1). Tecnologias ligadas à informática como banco de dados locais e remotos, sensoriamento remoto, rastreabilidade, sistemas especialistas e modelos matemáticos têm todos o mesmo objetivo: aumentar a agilidade, quantidade e qualidade das decisões por parte de produtores rurais.

Figura 1 - O papel de sistemas de apoio à tomada de decisão no ciclo de solução de problemas
(Adaptado de Turban, 1995)

É importante considerar que a tomada de decisão é parte e não o todo na resolução de problemas. A resolução de problemas depende não somente de tomar a melhor decisão, mas também da eficiência com que se coloca essa decisão em prática i.e., a eficiência de sua implementação, do monitoramento e do controle do sistema para atendimento das metas propostas no planejamento (GRAY; PARKER, 1994).

Segundo Barioni, Veloso e Martha Junior (2002b) uma boa decisão inclui a avaliação da acurácia e custo da coleta dos dados e a eficiência com que o sistema pode ser manipulado. Ainda se deve considerar que a implementação de uma decisão não ocorre instantaneamente e nem é absolutamente precisa.

A modelagem matemática constitui uma das principais metodologias para o sistema de apoio à tomada de decisões (BYWATER, 1990). Ela é particularmente útil para o aumento da capacidade de previsão de resultados de diferentes decisões e estudo da sensibilidade do sistema a diferentes estratégias de manejo e alocação de fatores de produção.

2.3 Sistemas de produção animal

Segundo Barioni, Veloso e Martha Junior (2002b), termos como “sistema”, “holismo” e “multidisciplinariedade” têm sido utilizados com frequência na área de produção animal nos últimos anos. Essa terminologia reflete o conceito de que estudos isolados dos componentes formadores do sistema de produção animal (solo, planta forrageira, concentrados, suplementos, animal e mercado) são insuficientes para a resolução dos complexos problemas enfrentados por esse segmento agropecuário na atualidade.

Apesar da complexidade inerente à produção animal, existe nela uma organização característica. É possível, por exemplo, identificar níveis inferiores de agregação (componentes), como solo, pastagem e animal como componentes biofísicos básicos desse sistema.

As inter-relações desses componentes resultam em fenômenos que ocorrem em níveis mais agregados de organização do sistema. A absorção de água e de nutrientes pelas plantas (na interface solo/planta) e o pastejo (na interface planta/animal) são alguns desses processos (Figura 2). Adicionalmente, o desempenho do sistema é influenciado por uma série de fatores exógenos tais como: temperatura, pluviosidade, conservação de forragens, manejo reprodutivo do rebanho entre outros.

Essa visão mais abrangente é importante uma vez que o tratamento isolado da atividade pecuária dificilmente considera todos os objetivos (técnicos e econômicos) do produtor. A visão isolada ainda encobre, em muitas situações, as oportunidades relacionadas à adoção de outras atividades agrícolas.

Podem-se identificar ainda muitas questões e problemas que extrapolam o âmbito do local de produção. Essas questões (como elevação do preço de insumos, oscilação no preço da carne bovina durante alguns meses do ano e a concomitante oferta desse produto oriundo de outros países do Mercosul, etc.) e os problemas de sustentabilidade (em termos ambientais, sociais e econômicos) da produção animal em uma fazenda, microbacia, região ou cadeia do agronegócio também demandam estudos sistêmicos.

Adicionalmente, existe uma crescente demanda do mercado, da sociedade e do governo por sistemas de baixo impacto ambiental, harmonicamente inseridos na cadeia produtiva e capazes de promover desenvolvimento econômico e social no âmbito regional. O atendimento dessas demandas depende, não apenas das tecnologias à disposição do produtor, mas também da sua eficiente alocação, considerando os recursos disponíveis em situações específicas (BARIONI; VELOSO; MARTHA JUNIOR, 2002b).

Nesse contexto, a modelagem matemática constitui ferramenta indispensável devido a sua capacidade de contemplar os diversos processos e níveis hierárquicos do sistema em grandes amplitudes espaço-temporais, o custo e as dificuldades da experimentação tradicional em tratar tais problemas.

Figura 2 - Representação diagramática das principais variáveis exógenas, componentes, processos inter-relacionados e saídas no nível biofísico de um sistema de produção animal tipicamente brasileiro (Adaptado de Barioni, Veloso e Martha Junior, 2002b)

2.4 Modelagem de sistemas de produção animal

A modelagem é uma das habilidades fundamentais da mente humana, uma vez que modelos são simplificações intencionais da realidade (ROTHEMBERG, 1989). Modelos mentais podem

ser formalizados de diversas maneiras: gráficos, diagramas, mapas, réplicas em escala e modelos matemáticos. Existem vantagens na formalização de modelos como permitir a comunicação de idéias de forma organizada e a visualização e discussão de características de sistemas, assim como permitir tratar problemas representados por um modelo matemático utilizando-se a velocidade de processamento de computadores.

Enquanto um sistema é caracterizado por sua “complexidade organizada”, um modelo caracteriza-se pela sua representação em forma simplificada com o objetivo de extrair as características relevantes para a compreensão de seu comportamento ou para estabelecer soluções de problemas que envolvam tal sistema (CHECKLAND, 1989).

Modelos matemáticos representam a realidade por meio de uma ou mais equações e algoritmos (THORNLEY; FRANCE, 1984). A representação matemática de um sistema produz relações quantitativas entre um conjunto de variáveis de entrada e um conjunto de variáveis de saída, ou seja, uma descrição quantitativa da reação do sistema a determinadas condições (BARIONI; VELOSO; MARTHA JUNIOR, 2002a).

2.5 Modelos empíricos e mecanicistas

Modelos matemáticos podem ser baseados diretamente em dados observados, submetidos ou não à análise estatística. Normalmente tais modelos são constituídos por equações cujos parâmetros são determinados através de regressão. Tais modelos são denominados modelos empíricos (BLACKIE; DENT, 1979). De outro modo, modelos matemáticos podem ser desenvolvidos com base em relações teóricas entre os componentes de um determinado sistema. Essas relações podem incluir um ou mais níveis de agregação (célula, tecido, animal, etc.). Modelos que utilizam relações teóricas de níveis inferiores de agregação para explicar os mecanismos e quantificar o comportamento de um sistema em um nível superior de agregação são chamados mecanísticos (THORNLEY; JOHNSON, 1990). Alguns modelos, por exemplo, prevêm a taxa de crescimento de um animal a partir de fenômenos ao nível de tecido e entidades bioquímicas como DNA e ATP (BALDWIN, 1995).

De acordo com Barioni, Veloso e Martha Junior (2002a), em um determinado nível de organização, as relações representadas por equações matemáticas baseiam-se em:

- 1- conceitos teóricos;

- 2- dados experimentais ou provenientes de levantamentos analisados estatisticamente;
- 3- parâmetros baseados na experiência de especialistas;
- 4- calibração de parâmetros de um modelo com dados do sistema representado (essa última apresentando uma série de restrições do ponto de vista estatístico, THORNLEY, 1996).

A complexidade de um modelo está relacionada com os componentes e processos considerados. Modelos de sistemas podem envolver componentes e processos associados a diferentes níveis de agregação e incluir ou desprezar processos de forma a atingir um nível adequado de complexidade (BARIONI, 2002). Enquanto a adição de novos componentes e processos levam a uma maior generalidade na resposta do modelo (THORNLEY; JOHNSON, 1990), essa maior complexidade não se reflete necessariamente em maior capacidade preditiva (PASSIOURA, 1996).

A simplicidade é considerada uma virtude em modelagem matemática, porém a omissão de alguns processos do sistema pode mascarar aspectos importantes do seu comportamento (THORNLEY, 1996).

Modelos matemáticos utilizados em pesquisa, frequentemente, requerem grande quantidade de dados. Deve-se reconhecer, entretanto, que resultados de modelos de pesquisa apresentam grande número de beneficiários. Tais resultados permitem agregar conhecimento, avaliar ou subsidiar tecnologias, dirigir novos esforços de experimentação científica e auxiliar o desenvolvimento de modelos de apoio à tomada de decisões. Dessa forma, mais investimentos de aquisições podem ser justificados (BARIONI; VELOSO; MARTHA JUNIOR, 2002b).

Em contraste, alguns dos dados requeridos por modelos de aplicação científica podem ser de difícil e dispendiosa obtenção no âmbito da fazenda (BOOTE; JONES; PICKERING, 1996). Assim, via de regra, existe um equilíbrio entre custos e benefícios com menor número de dados de entrada para modelos visando a aplicação gerencial. Tais modelos necessitam considerar cuidadosamente os dados disponíveis e o custo de obtenção de novos dados, principalmente em pequenas propriedades que tendem a ter menor acesso a dados e informações.

Muitas vezes, informações qualitativas são utilizadas corriqueiramente e têm baixo custo para produtores (e.g. raça e sexo dos animais, nome do alimento, espécie forrageira utilizada, uso de aditivos, etc.). Tais informações são valiosas e de baixo custo, porém não podem ser

diretamente utilizadas por modelos matemáticos, uma vez que esses necessitam de dados numéricos de entrada.

Passioura (1996), em revisão sobre o assunto, argumentou que os modelos matemáticos possuem duas fontes básicas de erros: os de estrutura (associados à escolha dos processos a serem considerados no modelo e como tais processos serão representados) e os erros relacionados à parametrização (valor dos parâmetros obtidos experimentalmente). O mesmo autor afirma que o aumento da complexidade do modelo implica, geralmente, na diminuição do erro associado à sua estrutura, devido ao maior realismo no detalhamento dos componentes e processo do sistema (Figura 3). Entretanto o erro de parametrização cresce rapidamente com o aumento do número de parâmetros a serem estimados. Um modelo deve, portanto, ser tão simples quanto possível e tão complexo quanto necessário para uma dada aplicação, de modo a atingir um balanço ótimo entre erros de estrutura e parâmetros.

Figura 3 - Relação teórica entre os componentes do erro de previsão e a complexidade de um modelo matemático (PASSIOURA, 1996)

2.6 Modelos estáticos e dinâmicos

Modelos matemáticos podem ser classificados quanto à forma de tratar o tempo em estáticos e dinâmicos. Modelos estáticos desconsideram efeitos de estados transitórios sobre o comportamento do sistema. Esses modelos assumem que os estados transitórios não influenciam

os resultados do modelo e, portanto, a determinação do estado do sistema em um ponto no tempo é suficiente para determinar suas respostas. Os modelos estáticos são atualmente os mais utilizados nos sistemas de alimentação de ruminantes dos diversos países desenvolvidos. São exemplos os modelos do Institut National de la Recherche Agronomique, (INRA, 1989), Agricultural Food Research Council, (AFRC, 1993), National Research Council, (NRC, 1996).

Modelos dinâmicos são empregados na representação de sistemas nos quais as variações de estado são relevantes na previsão de seu comportamento e/ou quando existe interesse no estudo da sequência espaço-temporal das variáveis do sistema (BARIONI, 2002). Modelos dinâmicos são baseados nas seguintes premissas: (1) o estado de um sistema pode ser expresso quantitativamente em qualquer instante de tempo; (2) as taxas de mudança são afetadas pelo estado atual e por variáveis exógenas e podem ser descritas em termos matemáticos e do sistema.

2.7 Modelos de crescimento animal

O crescimento depende da ingestão e digestão de nutrientes pelo animal, incluindo, no caso de ruminantes, processos relativos à fermentação ruminal e metabolismo. Assim em modelos de produção animal, a ingestão de alimentos ou nutrientes é utilizada para previsão dos processos considerados em modelo de digestão, metabolismo e crescimento animal.

Os modelos de crescimento animal variam em objetivos, tratamento do tempo, nível de agregação, processos modelados e complexidade. Um ou mais dos seguintes objetivos têm sido perseguidos pelos atuais modelos de crescimento animal: (1) Prever o ganho de peso e a composição do ganho de um animal em um determinado estágio de sua vida e condições nutricionais (NRC, 1996), (2) Capacitar a estimativa das exigências nutricionais de tais animais (NRC, 1996), (3) Capacitar a formulação de dietas mais viáveis economicamente (LANNA et al., 1999), (4) Estudar as implicações do ganho compensatório (SOBOLEVA et al., 1999) e (5) Estudar os efeitos de agentes modificadores da partição de nutrientes (SAINZ; WOLF, 1990).

Diversos modelos têm sido propostos para previsão da disponibilidade de produtos da fermentação ruminal para o metabolismo e crescimento (BALDWIN, 1995). No entanto submodelos empíricos que relacionam a ingestão de energia com a energia metabolizável ou energia líquida para ganho são os mais adotados atualmente (NRC, 2000).

A literatura frequentemente define “modelos de crescimento” como aqueles relacionados aos processos pós-absortivos de utilização de nutrientes e/ou energia (BALDWIN, 1995). Tais modelos incluem previsão de gastos energéticos para a manutenção assim como para a partição de nutrientes entre tecidos (músculo, víscera, osso e gordura) e a eficiência de utilização de nutrientes nesses processos.

Modelos matemáticos de metabolismo e de crescimento animal têm como premissa básica a lei da termodinâmica de conservação de energia (CRUCHAGA et al., 1992). Os índices de eficiência de utilização de energia para manutenção e ganho são utilizados para conversão da energia ingerida em energia retida nos tecidos. Nesses modelos, o ganho médio diário de peso (GMD) é calculado como a razão entre energia retida (ER) e o conteúdo energético do ganho (CEG), eq.(1):

$$\text{GMD} = \text{ER} / \text{CEG} \quad (1)$$

A energia retida é normalmente calculada subtraindo-se a exigência energética para manutenção da ingestão de energia do animal. Em sistemas que usam energia metabolizável para os cálculos das exigências e da ingestão é necessário utilizar-se um coeficiente (k_g) para conversão da energia metabolizável em energia líquida (BARIONI; VELOSO; MARTHA JUNIOR, 2002a), Eq. (2):

$$\text{ER} = \text{IEL} - \text{EELm} = k_g (\text{IEL} - \text{EELm}) \quad (2)$$

Onde IEL representa a ingestão de energia líquida, e EELM é a exigência de energia líquida para manutenção e k_g é a eficiência de ganho (isto é, a razão entre energia retida e ingestão de energia metabolizável, excluindo gastos energéticos para manutenção).

Combinando as eq. (1) e (2), obtemos a eq. (3), que é a equação básica dos sistemas convencionais de exigências nutricionais e previsão de crescimento de bovinos.

$$\text{GMD} = (\text{IEL} - \text{EELm})/\text{CEG} = k_g (\text{IEM} - \text{EEMm})/\text{CEG} \quad (3)$$

Onde IEM representa a ingestão de energia metabolizável e EEMm, a exigência de energia metabolizável para manutenção.

Os modelos estáticos de crescimento baseados na eq. (3), adotados nos sistemas de padrões nutricionais para ruminantes, atingiram alto grau de acurácia na previsão das taxas de crescimento, principalmente, para animais confinados. Esses modelos apresentam como vantagem a facilidade de especificação matemática, parametrização e introdução de fatores de correção nas equações. Ainda, esses modelos apresentam baixa demanda computacional, o que permite eficiente implementação em planilhas eletrônicas.

Os modelos propostos visam basicamente adequar a dieta às exigências do animal, avaliar a ingestão, desempenho animal, custo de produção e otimizar a formulação de dietas. A figura 4 apresenta a estrutura básica de sistemas de avaliação nutricional de dietas.

Figura 4 - Estrutura básica de modelos de avaliação e formulação de dietas (BARIONI; VELOSO; MARTHA JUNIOR, 2002a)

Entretanto, segundo Barioni, Veloso e Martha Junior (2002b), entre as principais limitações aos modelos estáticos atuais, estão: (1) não estimar os estados transitórios do animal, inabilitando simulação adequada de ganho compensatório e (2) a utilização da eficiência de utilização de

energia é função da própria concentração energética dos alimentos. As formas como essa energia é contida (gordura, proteína, etc.) e suas possíveis interações no metabolismo e composição do ganho são desconsideradas. Modelos dinâmicos, em contrapartida possuem maior demanda computacional e o desenvolvimento e parametrização frequentemente são mais complexos (OLTJEN et al., 2000). Alguns modelos desse tipo podem permitir simular mais adequadamente os efeitos de período e intensidade de restrição e realimentação sobre manutenção, composição do ganho e ingestão (embora a dinâmica da ingestão seja usualmente desprezada nos modelos revistos).

Exceções feitas a alguns modelos, como por exemplo, Lanna et al., (1999), os modelos de crescimento ainda utilizam a ingestão de nutrientes como variável de entrada e não prevêem a ingestão a partir de uma demanda de nutrientes do organismo. Sendo a disponibilidade de nutrientes um dos principais fatores determinantes do crescimento, é bastante frustrante o estado atual de desenvolvimento dos modelos matemáticos nesse aspecto.

Existe a expectativa de que modelos de metabolismo de nutrientes, com o tempo, serem incorporados para previsão de eficiência de ganho em sistemas de avaliação de dietas. Parece evidente que os sistemas de alimentação irão se valer, no futuro, de modelos dinâmicos para melhorar sua capacidade preditiva em situações de alimentação diversas daquelas onde foram desenvolvidos. As dificuldades no desenvolvimento e as limitações encontradas nos modelos dinâmicos atuais em contraste a uma certa maturidade já alcançada pelos modelos estáticos podem brevemente retardar, mas não evitar a sua adoção na predição do desempenho animal em larga escala.

2.8 Implementação de modelos computacionais de simulação

Depois da formulação matemática das relações que participarão do modelo, a implementação de um modelo computacional de simulação requer a transferência de conhecimento (presente na forma de conceitos e regras) e de informações ao computador na forma de fórmulas, algoritmos e dados estruturais.

A definição do sistema e objetivos do modelo de simulação a ser construído, deve começar antes da construção do modelo propriamente dita (Mc CALL, 1984). Diferentes sistemas e objetivos necessitam de diferentes estratégias de modelagem.

Os objetivos do usuário final é que determinarão o nível de complexidade a ser adotada e uma das maiores dificuldades é fazer um modelo que seja compreensivo e simples simultaneamente. Quando um modelo é construído com um propósito bem definido é fácil de manter seu nível de complexidade baixo. No entanto, o aumento de generalidades geralmente requer adição de mais dados de entrada, variáveis e equações.

Para o desenvolvimento de modelos mecanicistas o primeiro passo, depois de definir seus propósitos, o(s) pacote(s) computacional a ser usado, deve-se concentrar o estudo do sistema a ser simulado. É importante que os sub-sistemas, os componentes e as relações dentro de cada sub-sistema, as variáveis ambientais e pontos de controle sejam identificados nesse estágio (DENT; ANDERSON, 1971).

Muitos autores recomendam o uso de uma representação diagramática do sistema, que corresponde ao segundo passo. De acordo com Dent & Anderson (1971), essa representação do modelo proporciona a base para a identificação do tipo e forma dos dados requeridos. A disponibilidade de dados poderá induzir as mudanças consideráveis no modelo. Não é necessário que um modelo tenha todos os detalhes do sistema a ser representado. No desenvolvimento de sistemas de auxílio à tomada de decisão somente os parâmetros que provavelmente afetariam a decisão devem ser modelados (GILLARD; MONYPENNY, 1988).

O terceiro passo envolve a busca por dados para a definição das relações quantitativas (i.e. equações) (DENT; BLECKIE, 1979). Nesse estágio podem ocorrer limitações das informações disponíveis. Caminhos alternativos para representação dos componentes do sistema e estimativa dos valores para algumas variáveis podem ser necessários.

Uma vez que os dados foram reunidos e as equações formuladas, o modelo pode ser implementado como um código computacional (BARIONI, 1997). Essa fase inclui codificação, depuração, parametrização, calibração e documentação (CARLSON; THUROW; JONES, 1993). Algoritmos, dados estruturais, interface com o usuário e a colaboração de outro software podem também ser importantes durante essa fase. Uma vez implementado, o programa de computador representa a forma definitiva do modelo, a qual é capaz de simular o comportamento do sistema (BROCKINGTON, 1979).

Modelos são escritos usando diversos tipos de pacotes computacionais ou ferramentas de programação. A opção mais comum é a utilização da terceira geração de linguagem de programação, como, por exemplo, a Pascal, Fortran, C, C++, Delphi ou Visual Basic. Essas

linguagens são muito versáteis e podem ser usadas por qualquer projeto de desenvolvimento de software. Elas permitem uma interface personalizada com o usuário e grande capacidade de armazenamento de banco de dados.

O tempo necessário para o desenvolvimento é uma grande preocupação para os modeladores por causa da influência no custo e no comprometimento necessário para se cumprir o projeto. Apesar dos atuais benefícios trazidos pela linguagem orientada a objetos, o tempo requerido para o desenvolvimento ainda é grande.

A estimativa de parâmetros segue as fases de codificação e depuração. Modelos podem ser muito sensíveis a certos parâmetros, e por consequência uma parametrização “pobre” pode por em perigo o desempenho do modelo. A parametrização é de grande importância e necessita de considerável tempo e informação (CARLSON; THUROW; JONES, 1993). Dependendo da intenção do usuário os parâmetros podem ser estimados internamente ou serem definidos pelo próprio usuário. Há também a possibilidade do usuário poder modificar os parâmetros do modelo, mas isso deverá ser procedido com cautela, principalmente quando os dados de entrada não têm uma base física, deixando ao usuário uma escolha difícil para ajustes e parâmetros não fixados (BARIONI, 1997).

A calibração situa-se entre os estágios de parametrização e validação e efetua uma alteração nos valores dos parâmetros de um modo lógico obtendo o melhor ajuste entre os dados de saídas simulados e dados mensurados num sistema real (CARLSON; THUROW; JONES, 1993). Consiste num teste do processo de parametrização e é similar a validação, exceto por não objetivar testar a hipótese do modelo, mas ajustar seu comportamento ao sistema a ser simulado.

Como mencionado por Carlson, Thurow e Jones (1993), é importante realçar que o desenvolvimento do modelo é, ou pelos menos deveria ser, um processo iterativo que inclui projeto, re-implementação e re-avaliação e, conseqüentemente uma versão definitiva do modelo provavelmente nunca será alcançada, uma vez que a adição de processos biofísicos será continua.

2.9 Avaliação de modelos computacionais de simulação de cálculo das exigências e do desempenho animal

A parametrização, calibração e implementação inicial do modelo num código computacional não é o fim do desenvolvimento do modelo. Depois desse estágio é indispensável avaliar o modelo para assegurar que atingiu os propósitos para os quais foi desenvolvido.

Carlson, Thurow e Jones, (1993), dizem que a avaliação do modelo é um processo crítico no desenvolvimento iterativo de um modelo, porque é somente assim que o modelador começa verdadeiramente a entender o desempenho do modelo e sua função no sistema. O processo de avaliação pode ser dividido em verificação e validação.

A verificação é um processo contínuo e refere-se à inspeção do programa computacional a fim de se garantir um comportamento consistente e que esteja de acordo com o conhecimento atual do sistema. Dessa forma, a verificação inclui uma avaliação subjetiva da precisão do modelo feita pelos desenvolvedores ou por especialistas em modelagem e testes de programas computacionais (Mc CALL, 1984).

A segunda etapa da avaliação é chamada validação. Uma vez que um modelo é uma hipótese do comportamento de um sistema, ele deve ser testado de maneira diferente a que o sistema foi modelado para ver se as hipóteses podem ser aceitas ou não (BARIONI, 1997). Validação é definida como sendo “o processo de teste do comportamento do modelo de acordo com o sistema real o qual ele representa, respeitando os propósitos específicos pelo qual tal modelo fora desenhado” (LEVIS; LEVIS, 1978).

O objetivo da validação é desenvolver um nível de confiança aceitável inferido a partir do desempenho do modelo em que este se mostra correto e aplicável a sistemas reais.

Dados para a validação do modelo podem ser obtidos por meio de três fontes (ANDERSON; DILLAN; HARDAKER, citado por DENT; BLACKIE, 1979): (1) dados experimentais históricos ou publicados que não participaram da construção do modelo; (2) dados experimentais históricos ou publicados coletados a partir do momento em que o modelos estava completo; e (3) dados experimentais gerados ou coletados especificamente para a validação. Uma precaução a ser feita quando se usar dados históricos é o raciocínio circular; é necessário garantir completa independência dos dados que participam da validação daqueles que foram usados na construção do modelo (McCALL, 1984). Dessa maneira, os dados usados na parametrização das equações do modelo não são aceitos para a validação.

Dados de experimentos publicados, estudos de caso e dados históricos de fazendas e confinamentos podem prover um bom material para a validação. Dados experimentais gerados especialmente para a validação do modelo são os melhores, tanto em termos de adequação das medidas quanto em termos de se ajustar aos testes do modelo. O fator limitante para a validação é

geralmente a falta de dados completos para comparação entre dados de entradas simulados e resultados gerados (CARLSON; THUROW; JONES, 1993).

Muitos tipos de testes para validação de modelos são descritos na literatura. Alguns exemplos são: sistemas de desempenho gráficos e dados de saída do modelo numa série temporal, análise de regressão dos dados de saída do modelo e medidas reais de sistemas, teste de médias, análise de variância e covariância, entre outros.

Diversos autores discutem a utilização de testes estatísticos no sentido de se verificar a validade dos modelos (HARRISON, 1990; MAYER; STUART; SWAIN, 1993; THORNTON; HANSEN, 1996), propondo e discutindo a validade de se utilizar testes como o F, de modo a se testar a hipótese de que a regressão linear, entre os dados observados na realidade e os previstos pelo modelo, apresenta intercepto zero e inclinação igual a 1. Thornton & Hansen (1996) mostram que a utilização do teste F é extremamente rígida e apresenta grande viés a medida que se aumenta o número de pontos amostrados.

A limitação apresentada por diversos testes estatísticos leva a sugerir que a utilização de instrumental estatístico deve se restringir ao objetivo descritivo e não de inferência a respeito da validade dos modelos. Tal instrumental estatístico deve ser combinado com procedimento gráfico de comparação e avaliação de especialistas (HARRISON, 1990).

Segundo Barioni (1997), a análise de regressão simples é talvez o melhor teste estatístico para validação e um dos mais largamente utilizados nos dias de hoje. Ele é realizado com médias das saídas do modelo e de medidas do sistema real, como sendo observações pareadas.

Murthy, Page e Rodin (1990) mostraram que uma decisão crucial é a escolha de qual teste será usado para a validação. Se o teste escolhido for muito rigoroso, o processo de modelagem irá requerer um grande número de interações para se completar o teste e, de acordo com o modelo final, provavelmente indicará que o teste é muito complexo para o seu propósito. Por outro lado, se o teste não for suficientemente rigoroso, modelos com inadequada precisão passarão pelo teste.

De acordo com Shannon (1975) o conceito da validação deve ser não deve ser considerado como idéia de variável de decisão binária, onde o modelo é válido ou inválido. Testes com o modelo sob diversos usos não garantem que este funcionará perfeitamente em todo o seu universo de possibilidades de aplicação. Um modelo considerado válido denota que este não falhou durante um teste de validação qualquer. De fato, um modelo considerado validado não o é para sempre, devendo ser continuamente testado (Mac CARL, 1984).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do modelo

Recentemente, o LNCA (Laboratório de Nutrição e Crescimento Animal) da ESALQ/USP, adaptou um modelo baseado nos modelos do Cornell Net Carbohydrate and Protein System, (FOX et al., 2003) e do National Research Council (NRC, 1996), cujas equações e parâmetros foram “tropicalizados”, i.e., parametrizados para os resultados de pesquisa conduzidos no Brasil Central Pecuário. Esse modelo ajustado é denominado “Sistema ESALQ de Cálculo de Exigências Nutricionais para Bovinos de Corte” e foi posteriormente embutido num software de formulação e otimização de rações, o RLM 3.0 (2005).

A estrutura e as equações do modelo serão descritas nesta seção. O modelo foi desenvolvido com a finalidade de estimar as exigências nutricionais e o desempenho de bovinos de corte em condições tropicais.

O presente trabalho revisou o modelo de ingestão, digestão, metabolismo e crescimento, capaz de prever a dinâmica do uso de nutrientes por bovinos de corte em crescimento baseado no sistema californiano de energia líquida, e incluiu alterações em diversas equações e parâmetros (multiplicadores) de modo a torná-lo apto a reproduzir as respostas observadas em sistemas comerciais de produção no Brasil sob diversas condições de alimentação prévia.

3.1.1 Estimativa do ganho de peso, consumo voluntário de matéria-seca e exigências nutricionais de bovinos de corte

Existem inúmeras alternativas de condução do processo de engorda de bovinos em confinamento decorrentes: da infra-estrutura existente em cada fazenda (tipo e capacidade das instalações, maquinário, entre outros); da característica dos animais a serem confinados (peso inicial, raça, sexo, condição de alimentação prévia, entre outros); da disponibilidade de insumos (alimentos, mão-de-obra, capital) e da expectativa de preços para a arroba do boi gordo e dos preços e, ou, custos de produção dos insumos a serem utilizados no processo.

Para cada alternativa de produção devem-se conhecer as exigências específicas dos animais quanto à composição nutricional do alimento, a fim de suprir a demanda de energia, proteína e

minerais. Publicações internacionais direcionadas por conselhos de pesquisa, como o inglês ARC/AFRC (Agricultural and Food Research Council), o americano NRC (National Research Council), o francês INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) e o australiano CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) descrevem procedimentos e equações, que objetivam estabelecer relações confiáveis entre desempenho e exigências nutricionais. Tais equações são adotadas internacionalmente e ajustadas para diferentes condições, graças a resultados de pesquisas nacionais.

3.1.2 Valor energético dos alimentos

A diferença entre energia bruta dos alimentos e a energia perdida nas fezes é determinada energia digestível (ED). Um termo utilizado é o nutrientes digestíveis totais (NDT), o qual mensura a energia digestível em unidade de peso. Portanto, da relação entre os dois tem-se que 1kg de NDT corresponde a 4,4 Mcal de ED (SCHNEIDER ; FLATT, 1975).

A energia metabolizável (EM) é uma medida da energia da dieta que é disponível para o metabolismo, sendo descontadas as perdas de energia pela urina e gases (principalmente metano) as quais são subtraídas da ED. A interconversão do valor de ED dos alimentos em EM é possível, através da seguinte relação, eq. (4), (unidades em Mcal/kg de MS):

$$EM = 0,82 * ED \text{ (NRC, 1976; ARC, 1965)} \quad (4)$$

De acordo com o NRC (1984), a energia líquida (EL) representa a energia recuperada na forma de produto animal. Esta pode ter valor negativo para animais que estão sendo alimentados abaixo da sua exigência de manutenção. A utilização da EL como parâmetro de energia é de difícil adoção já que a eficiência de utilização da EM da dieta para EL (produto animal) varia com o estado fisiológico do animal (manutenção, crescimento, lactação e gestação) e com a composição da dieta (NRC, 1984). Essas complicações foram contabilizadas no sistema de energia líquida para gado de corte onde são atribuídos dois valores de energia líquida para cada alimento. Da mesma forma, as exigências dos animais foram similarmente (e arbitrariamente) subdivididas. A energia líquida disponível para manutenção é determinada E_{Lm}, e a energia líquida disponível para o crescimento é determinada E_{Lg}.

A interconversão do valor de EM dos alimentos para EL é possível através das seguintes equações cúbicas (eq. (2) e (3), unidades em Mcal/kg de MS):

$$ELm = 1,37EM - 0,138EM^2 + 0,0105EM^3 - 1,12 \text{ (GARRET, 1980a)} \quad (5)$$

$$ELg = 1,42EM - 0,174EM^2 + 0,0122EM^3 - 1,65 \text{ (GARRET, 1980b)} \quad (6)$$

No presente sistema, propõe-se uma adaptação da equação de Garret (1980a) ao incluir um ajuste (eq. (7)) quanto ao uso ou não de ionóforo, e, quando utilizado deve-se identificar o tipo do mesmo (Tabela 1). O fator de ajuste considera as modificações no padrão da fermentação microbiana, através do aumento da produção de propionato e menor atividade da via de produção de metano. Isto altera a quantidade de energia líquida disponível para o animal, já que aumenta a retenção de energia nos produtos da fermentação (MULLER, 1995). Uma das vantagens do uso de ionóforos para bovinos, pode ser atribuída à sua ação inibitória seletiva sobre as bactérias gram positivas do rúmen, resultando em uma microbiota, predominantemente, de bactérias gram negativas que produzem succinato e propionato (GALYEAN; HUBBERT, 1989). A maior produção de propionato está associada a menor formação de metano e gás carbônico, resultando em maior eficiência na conversão de energia. Conseqüentemente, os valores de energia líquida dos alimentos (ELm) são aumentados quando fornecidos ionóforos da seguinte forma:

$$ELm = (1,37EM - 0,138EM^2 + 0,0105EM^3 - 1,12) * \text{fator ionóforo} \quad (7)$$

Tabela 1 - Coeficientes de ajustes de ionóforo na equação de energia de manutenção dos alimentos

Ionóforo	Coeficiente
Nenhum	1,00
Monensina	1,12
Lasalocida	1,06
Salinomycin	1,12

Fonte: Baseado em revisão de Lanna e Medeiros, 2007¹.

¹ Lanna e Medeiros – Uso de aditivos na bovinocultura de corte. Revisão a ser publicada no Simpósio da FEALQ de 2007.

3.1.3 Exigência de energia para manutenção

A exigência de energia para manutenção pode ser definida como a quantidade de energia ingerida que resultará em nenhuma perda ou ganho líquido de tecido corporal (NRC, 1996).

As exigências líquidas de energia para manutenção (EELm) são representadas pela energia despendida no metabolismo basal e pelo calor produzido através de atividades voluntárias do animal e corresponderiam à situação de consumo zero, i.e. toda produção de calor do animal (VALADARES FILHO; PAULINO; SAINZ, 2005). Entretanto, em condições práticas, torna-se impossível manter animais em condições de consumo zero. Desta forma, o calor produzido pelos animais mantidos em diferentes níveis de consumo energético pode ser estimado por extrapolação. Através da equação de regressão entre o logaritmo da produção de calor e a ingestão de energia metabolizável (EM, Mcal/dia) obtém-se o intercepto e, o antilogaritmo deste representa a EELm em Mcal de ELM/dia, conforme preconizado por Lofgreen e Garret (1968); eq. (8).

$$EELm = 0,077 * PV_j^{0,75} \quad (8)$$

Onde, PV_j representa o peso vivo médio em jejum em quilogramas (LOFGREEN; GARRET, 1968; GARRET, 1980). Esta fórmula foi obtida a partir de dados de novilhos e novilhas em crescimento de raças britânicas submetidos, em sua maioria, a ausência de estresse ambiental. O valor de 77 kcal por quilograma de peso metabólico é referente à produção de calor em jejum e é o utilizado pelo NRC (1996).

Para o NRC (1996) há uma série de fatores que alteram as exigências de energia líquida para manutenção, sendo estes: raça, sexo, idade, temperatura, estado fisiológico, nutrição prévia e atividade dos animais. No presente sistema adota-se ajustes para raça e condições de alimentação prévia (ganho compensatório).

Para animais zebuínos, o NRC (1996), baseado na revisão de diversos trabalhos, sugere a adoção de um desconto de 10% na EELm em relação ao valor utilizado para animais *Bos taurus*, chegando-se ao valor de 69,3 kcal/kg^{0,75}/dia. Este mesmo sistema cita que a EELm de machos inteiros é 15% maior do que a exigência de fêmeas e machos castrados. Recentemente, Tedeschi; Boin e Fox (2002) obtiveram as mesmas EELm em machos Nelore inteiros e castrados.

Realmente outros experimentos sugerem que o valor de 15% seja elevado para esta diferença. Silva et al. (2002), também compilando dados nacionais, obtiveram EELm igual a 71,3 kcal/kg^{0,75}/dia para animais zebuínos não-castrados, valor 10,5% menor do que o sugerido pelo NRC (1996) para o mesmo tipo de animal. O experimento de Tedeschi (77,2 kcal/kg^{0,75}/dia) obteve exigências para Nelore igual à de *B. taurus*, resultados contrários à maior parte da literatura e provavelmente função da forma diferente de estimativa do teor de EM dos alimentos.

As exigências de energia de manutenção de animais zebuínos em condições brasileiras são realmente inferiores às dos animais taurinos. Os dados nacionais sugerem de forma bastante convincente que animais Nelores demandam em torno de 10 a 22% menos energia para manutenção do que animais taurinos. Tais valores estão de acordo com citações do CSIRO (1990) e de Patle e Mudgal (1975), segundo os quais, animais zebuínos apresentam exigência de energia para manutenção 20% menor do que taurinos.

Os resultados obtidos por Garret (1971), através de abate comparativo, indicaram que novilhos Holandeses têm exigência de manutenção 23% maior do que novilhos Hereford. De maneira similar, Jenkins e Ferrell (1984b) e Ferrel e Jenkins (1985) observaram que a quantidade de energia ingerida necessária para a manutenção em tourinhos e novilhas foi maior na raça Simental do que na Hereford. Tais resultados mostraram que a EELm foi, na média entre os sexos, 19% maior para a raça Simental. Valores reportados por Andersen (1980) e Byers e Rompala (1982) revelaram que a raça Simental teria exigência de manutenção 3 a 6% maior do que animais Hereford.

Muitos desses estudos observaram diferenças entre raças, confirmando que há uma variação considerável quanto à EELm entre elas. Entretanto, devido à diversidade de raças, metodologias, condições, etc., comparações diretas entre os estudos são difíceis (NRC, 1996).

Neste contexto, o presente sistema se apóia em algumas generalizações para comparar raças e alguns cruzamentos. Tais generalizações foram feitas com base na revisão de dados de pesquisas (alguns citados nos parágrafos anteriores) e na experiência do grupo de pesquisadores do LNCA. Ao final considerou-se que, animais *B. indicus* (Nelore, Gir, Guzerá, Brahman e demais zebuínos) requerem 11% a menos de energia do que a equação preconizada por Lofgreen e Garret (1968) sugere para as raças Hereford, Angus e Devon. Cruzamentos entre raças britânicas e *B. indicus* requerem 6% a menos. Raças leiteiras (e.g. Holandês) requerem 20% a mais de energia para manutenção e, para cruzamentos entre Holandês e *B. indicus* utiliza-se valor de

correção de 5% a mais. Raças de duplo-propósito (Simental, Braunvieh, Gelbvieh) têm exigência 10% maior. Enquanto, para as raças continentais (Charolês, Chianina, Limousin) utiliza-se valores 5% abaixo do que seria obtido com a equação de Lofgreen e Garret (1968). Considerou-se, ainda, para os cruzamentos entre raças continentais e *B. indicus* e para raças sintéticas (e.g. Canchim, Brangus, Bradford e Santa Gertrudes), ajuste de 4% a menos (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes de ajuste de raça utilizados na equação de exigência de energia para manutenção

Raças	Coeficientes
<i>Bos indicus</i> (Nelore, Gir, Guzerá, Brahman)	0,89
Raças Britânicas (Hereford, Angus, Devon)	1,00
F1 Britânico X <i>Bos indicus</i>	0,94
Holandês	1,20
F1 Holandês X <i>Bos indicus</i>	1,10
Simental, Braunvieh, Gelbvieh	1,10
Raças Continentais (Charolês, Chianina, Limousin)	1,05
F1 Continentais X <i>Bos indicus</i>	0,96
Raças sintéticas (Canchim, Brangus, Bradford, Santa Gertrudis)	0,96

Muitos estudos demonstram a influência da alimentação prévia (ganho compensatório) sobre a exigência de manutenção animal. O fenômeno é descrito como um período de rápido ou mais eficiente ganho de peso como consequência de um período de estresse nutricional (privação de alimentos) ou ambiental. No entanto, a resposta a esse estresse é muito variável. Dados disponíveis mostram, por exemplo, que a pesos vivos similares, a gordura corporal é diminuída, aumentada ou inalterada após o período de re-alimentação (NRC, 1996). Diferenças entre genótipos do animal; grau de intensidade, natureza e duração da restrição; regime nutricional e intervalo de mensuração da resposta durante a re-alimentação estão entre as inúmeras variáveis que contribuem para essa variação de resposta.

A maior alteração causada pelo ganho compensatório em animais submetidos à oferta abundante de alimento após um período de restrição é o aumento do consumo. Em resposta,

ocorre aumento do enchimento do trato gastrointestinal e aumento do peso, mas também há um aumento na eficiência alimentar.

Segundo o NRC (1996), há indicações que a exigência de manutenção é reduzida durante e após o período de restrição alimentar. Entretanto, a extensão dessa redução é variável, e varia de 10 a mais de 50%. Sugerir a magnitude dessa redução envolve ponderação do genótipo, da idade do animal quando da restrição e da natureza desta restrição (tipo de nutriente, duração e severidade da restrição). O presente sistema sugere (Tabela 3) valores de 20% na redução da manutenção quando se espera ganho compensatório intenso (e.g. intensa restrição em animal com mais de 2 anos) e 10% quando se espera ganho compensatório moderado (e.g. restrição de baixa severidade ou por pouco tempo).

Tabela 3 – Sugestão para os coeficientes de ajuste de ganho compensatório utilizados na equação de exigência de energia para manutenção

Ganho compensatório	Coeficiente
Intenso	1,20
Moderado	1,10
Ausente	1,00

Fonte: Valores obtidos a partir de sugestões do NRC (1996) e AFRC (1993).

3.1.4 Consumo para manutenção

Para estimar o consumo necessário para suprir as exigências de manutenção, eq. (9), deve-se dividir a EELm pela energia líquida de manutenção fornecida pela alimentação (ELm), a qual é obtida através da equação adaptada de Garret (1980a) discutida anteriormente no item 3.1.2.

$$\text{Consumo para manutenção (kgMS/dia)} = \frac{\text{Exigência de manutenção, EELm (Mcal/dia)}}{\text{Energia Líquida de manutenção, ELm (Mcal/kgMS)}} \quad (9)$$

3.1.5 Consumo de matéria seca

O consumo de matéria seca (CMS) é parâmetro fundamental para formulação de dietas a fim de atender as exigências nutricionais, predizer o ganho de peso diário dos animais e estimar a lucratividade do sistema (NRC, 1996).

As equações de predição de consumo do NRC foram desenvolvidas com dados obtidos, principalmente, a partir de bovinos de raças britânicas, implantados e alimentados com dietas de alta proporção de concentrado e com a utilização de ionóforos (ALMEIDA, 2005), situação típica dos confinamentos norte-americanos.

Há muito tempo reconhece-se que há diferenças entre os animais para o CMS, quanto às exigências de manutenção e eficiência de utilização dos alimentos (EUCLIDES FILHO et al., 2003; FERRELL; JENKINS, 1995). Bovinos *B. indicus* puros e cruzados utilizam forragem de baixa qualidade mais eficientemente que bovinos *B. taurus* (KARUE; EVANS; TILLMAN, 1972; KREHBIEL; KREIKEMEIER; FERRELL, 2000). Isto explica o maior desempenho dos animais cruzados *B. indicus* x *B. taurus* em relação aos animais *B. taurus* submetidos a ambientes de clima subtropical, particularmente sob restrição nutricional (FRISCH; VERCOE, 1977).

Por outro lado, nas dietas a base de forragem de alta qualidade e forragem mais concentrado, os bovinos *B. taurus* apresentam consumo acima de suas exigências de manutenção e, como consequência, ganham peso mais rápido e de forma mais eficiente que animais *B. indicus* (KREHBIEL; KREIKEMEIER; FERRELL, 2000; LEDGER; ROGERSON; FREEMAN, 1970). Isto é particularmente verdadeiro em condições não limitantes de produção; em confinamento e com dietas de alta inclusão de concentrados.

O menor CMS para bovinos de raças *B. indicus* foi demonstrado em avaliação de tourinhos Nelores em provas de ganho de peso (ALMEIDA; LANNA, 2003a) e em novilhos Nelore em confinamentos comerciais (ALMEIDA; LANNA, 2003b). Tais trabalhos concluíram que os animais Nelore apresentam consumos 5 a 10% menores do que os preditos pelas equações do NRC (1996).

O NRC (1996) sugere uma equação (eq. (10), kg MS/dia) para estimar o CMS de bovinos de corte em crescimento e terminação; esta descreve o CMS como função da ELM da dieta, com ajustes para idade, raça, porcentagem de gordura do corpo vazio, aditivos, temperatura ambiente e presença de lama.

$$\text{CMS} = (\text{PVj}^{0,75} * (0,2435 * \text{ELm} - 0,0466 * \text{ELm}^2 - 0,1128)) / \text{ELm} \quad (10)$$

Há uma série de fatores utilizados na modelagem e que, segundo o NRC (1996), afetariam a estimativa de consumo (Tabela 4).

Tabela 4 – Fatores de ajuste para consumo de matéria-seca para bovinos

Fatores de ajuste	Coefficientes
Idade	
Sobreano na entrada do confinamento	1,10
Raça	
Holandesa	1,08
Holandesa x Britânica	1,04
% Gordura Corporal CVz	
21,3% (PVe _q = 350kg)	1,00
23,8% (PVe _q = 400kg)	0,97
26,5% (PVe _q = 450kg)	0,90
29,0% (PVe _q = 500kg)	0,82
31,5% (PVe _q = 550kg)	0,73
Aditivos	
Com anabolizantes	1,00
Sem anabolizantes	0,94
Monensina	0,96
Lasalocida	0,98
Temperatura, °C	
> 35, sem resfriamento à noite	0,65
< 35, sem resfriamento à noite	0,90
25 a 35	0,90
15 a 25	1,00
5 a 15	1,03
-5 a 5	1,05
Presença de lama	
Moderada (10-20 cm)	0,85
Severa (30-60 cm)	0,70

Fonte: Adaptado de NRC (1987).

O NRC (1996) e Fox et al. (1992) sugerem como fator de ajuste de raça na predição de consumo de MS, os coeficientes de 1,08 para animais de raça Holandesa e 1,04 para animais cruzados Holandês x raças Britânicas. Já, para raças zebuínas, não são estabelecidos ajustes na publicação norte-americana que acomodem o aparente menor CMS.

3.1.5.1 A nova equação de predição de consumo para bovinos Nelore

Almeida e Lanna (2003a) demonstraram que as equações de predição de consumo do NRC (1984) e NRC (1996) sobreestimaram o CMS de tourinhos zebuínos em 10,0 e 7,2% respectivamente. Em outro estudo, Almeida e Lanna (2003b) determinaram que as equações de predição de consumo do NRC (1984) e NRC (1996) sobreestimaram o CMS de machos castrados *B. indicus* em confinamento comercial em 9,1 e 5,6%, respectivamente.

Almeida (2005) optou por reparametrizar a equação de predição de consumo ao invés de sugerir um coeficiente de ajuste para zebuínos, como fora adotado pelo próprio NRC para levar em consideração o maior consumo da raça Holandesa e de seus cruzamentos. Segundo esse autor, ao sugerir esta mesma estratégia para zebuínos, assume-se que as curvas de predição de consumo de bovinos europeus e cruzados vs. zebuínos são paralelas e ambos grupamentos raciais atingem máximo consumo com dietas de 1,55 Mcal ELm/kg ou 67,5% NDT. Entretanto se pode observar que o ápice na curva de CMS de animais Nelore foi atingido em dietas com menor concentração energética, por volta de 63,5% de NDT (ou 1,40 Mcal/kg ELm), ao invés dos 67,5% observado na curva de consumo de bovinos europeus e cruzados (Figura 5).

Figura 5 - Comparação das estimativas de consumo de matéria seca para um novilho de tamanho corporal médio, com 410 kg de peso vivo médio, usando as equações oriundas respectivamente do NRC (1984), NRC (1996) e de Almeida (2005). Fonte: Almeida (2005).

A equação sugerida por Almeida (2005) para zebuínos (eq. (11)) foi adotada no presente sistema.

$$CMS = (PV_j^{0,75} * (0,2039 * ELm - 0,03844 * ELm^2 - 0,07376)) / ELm \quad (11)$$

Outra diferença importante, também apresentada na Figura 5, é o maior consumo de zebuínos em relação a bovinos europeus em dietas de baixa digestibilidade. Como dito anteriormente, bovinos *B. indicus* puros utilizam forragens de baixa qualidade mais eficientemente do que bovinos europeus, fato incorporado na nova equação de CMS para zebuínos. De maneira oposta, a partir dos 63,5% de NDT, as estimativas de CMS para animais *B. taurus* são maiores do que para zebuínos. À medida que a digestibilidade da dieta aumenta, i.e. maior proporção de alimentos concentrados, a estimativa de consumo para zebuínos decresce mais rapidamente do que para bovinos europeus.

3.1.5.2 Fatores de ajuste nas equações de consumo

A equação global para determinação do CMS, em kg de MS/dia, sugerida no presente trabalho, eq. (12), é a seguinte:

$$\text{CMS} = [(\text{PVM})^{0,75}] * (\text{CMSa} * \text{ELm} - \text{CMSb} * \text{ELm}^2 - \text{CMSc}) * \text{Fator CMSsexo} * \text{Fator CMSionóforo} * \text{Fator CMSimplante} * \text{Ajuste GC} / \text{ELm} \quad (12)$$

Sendo **CMSa**, **CMSb** e **CMSc** os coeficientes da equação, os quais variam conforme a raça (*B. indicus* ou *B. taurus* e seus cruzados) (Tabela 5). Os valores de CMSa, CMSb e CMSc para *B. taurus* e seus cruzados são os mesmos utilizados na equação de CMS do NRC (1996). Já os valores de CMSa, CMSb e CMSc para *B. indicus* são aqueles sugeridos no estudo de Almeida (2005).

Tabela 5 – Valores dos coeficientes CMSa, CMSb e CMSc na equação de predição de consumo

Raça	CMSa	CMSb	CMSc
<i>Bos taurus</i> e seus cruzados	0,2435	0,0466	0,1128
<i>Bos indicus</i>	0,2039	0,03844	0,07376

Fonte: NRC (1996); Almeida (2005).

O fator **CMSsexo** refere-se ao menor consumo das fêmeas em relação aos machos (desconto de 2%). Não se recomenda corrigir para o efeito de castração dos animais (Tabela 6). Da mesma maneira que outros programas de formulação de dietas para bovinos, como o RLM 2.0 (LANNA et al., 1999) e o CNCPS (FOX et al., 2003), também não sugerem a aplicação de fatores de ajuste para animais inteiros.

Tabela 6 – Valores assumidos pelo fator CMSsexo na equação de predição de consumo

Sexo	Fator CMSsexo
Macho inteiro ou castrado	1,00
Novilhas ou vacas	0,98

Fonte: Valores obtidos a partir de sugestões do NRC (1996) e de Fox et al. (2003).

O fator **CMSionóforo** refere-se à influência do uso de alguns ionóforos sobre o CMS.

As alterações observadas no CMS com uso de ionóforos podem ser explicadas pelos mecanismos físicos e fisiológicos de controle de consumo e, possivelmente, alterações de palatabilidade. As alterações no padrão de fermentação, através do aumento de propionato, alteram a concentração de energia da dieta pela maior retenção de energia nos produtos de fermentação (MULLER, 1995). Em rações com predominância de volumosos, o consumo é limitado pelo enchimento ruminal e, nesse caso, um aumento de ácido propiônico eleva a disponibilidade de energia por quilograma de matéria seca do alimento. Assim, há um aumento no ganho de peso sem alterações consideráveis no consumo. Ao passo que, em rações com predominância de concentrados, o consumo é limitado pela demanda de energia e, neste caso, o aumento de ácido propiônico eleva a disponibilidade de energia por quilograma de matéria seca, reduzindo o consumo. O que ocorre então é uma redução no consumo sem alterações consideráveis no ganho de peso.

O atual modelo ajusta o CMS quando altera o teor de EM (Tabela 1) de forma mecanística respeitando a biologia descrita acima. Entretanto, de acordo com o NRC (1996), os ionóforos aprovados para o uso em rações de bovinos apresentam efeitos diferenciados sobre o CMS. Há evidências de que a monensina reduz mais o consumo, enquanto a lasalocida e a salinomycin têm menor efeito. Em função disto um segundo nível de ajuste para uso dos principais ionóforos se torna necessário e está descrito na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores assumidos pelo Fator CMSionóforo na equação de predição de consumo

Uso de ionóforo	Fator CMSionóforo
Sem ionóforo	1,00
Monensina	0,98
Demais ionóforos	1,00

O fator **CMSimplante** refere-se a influência no consumo de matéria seca exercida pelo uso ou não de implantes. De acordo com o NRC (1996), implantes esteróides tendem a aumentar o consumo. A equação (10) foi desenvolvida para animais com esteróides, por isso tem como fator CMSimplante 1,00. Já a equação (11) foi desenvolvida para animais não-anabolizados, uma vez que no Brasil o uso de anabolizantes é proibido. Por isso, tem como fator CMSimplante 1,00 quando não se utiliza implantes. Dividiram-se os anabolizantes em três categorias em função de composto ativo e dose: anabolizantes simples, que são aqueles de ação estrogênica mais

progestogênio ou testosterona (Synovex S) e combinação agressiva com doses maiores de estrogênios e androgênios como o acetato de trembolona (Synovex Plus; Revallor).

Nesse estudo são sugeridos o ajuste CMSimplante para a eq. (11), referente a animais europeus e seus cruzados e eq. (10), animais zebuínos (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores assumidos pelo Fator CMSimplante na equação de predição de consumo

Uso de implante	Fator CMSimplante	Fator CMSimplante
	eq. (11)	eq. (10)
Nenhum	0,97	1,00
Simples	1,00	1,03
Combinação	1,01	1,04
Combinação agressiva	1,02	1,05

O **ajuste GC** diz respeito à ocorrência ou não de ganho compensatório. É unânime na literatura consultada que a restrição alimentar prévia aumenta o consumo quando os animais são realimentados (BOIN; TEDESCHI (1997); CARSTENS, 1995; LAWRENCE; FOWLER, 1997; SAINZ; DE LA TORRE; OLTJEN, 1995). Segundo Ryan (1990) e Boim e Tedeschi (1997), o tempo de permanência do animal em crescimento compensatório é relacionado à severidade da restrição anterior. O efeito do ganho compensatório é difícil de ser mensurado, mas para efeitos práticos foi dividido no presente modelo em três categorias: ausência de ganho compensatório, quando o animal não passou por um período de restrição alimentar anterior; ganho compensatório moderado, quando o animal passou por um período de restrição alimentar anterior e ganho compensatório intenso, quando o animal foi submetido a um período de restrição alimentar anterior severa (Tabela 9).

Tabela 9 – Valores assumidos pelo ajuste GC na equação de predição de consumo

Intensidade do ganho compensatório	Ajuste GC
Sem ganho compensatório	1,00
Ganho compensatório moderado	1,10
Ganho compensatório intenso	1,20

3.1.6 Consumo para ganho

Para determinar quanto do consumo será disponível para que haja ganho de peso, deve-se subtrair o consumo para manutenção (kg MS/dia) do CMS (kg MS/dia), eq. (13).

$$\text{Consumo para ganho (kg MS/dia)} = \text{CMS (kg MS/dia)} - \text{Consumo para manutenção (kg MS/dia)} \quad (13)$$

3.1.7 Energia líquida para ganho disponível

A energia líquida disponível para ganho (ELgdisp), em Mcal/dia, foi obtida a partir do consumo para ganho (eq. (13), kg MS/dia), e do teor de energia líquida de ganho (ELg, Mcal/kg MS), valor este obtido através da eq. (14).

$$\text{ELg (Mca/kg MS)} = 1,42 * \text{EM} - 0,174 * \text{EM}^2 + 0,0122 * \text{EM}^3 - 1,65 \quad (14)$$

O uso de implantes aumenta o consumo (item 3.1.5.2) e a taxa de ganho. De acordo com o NRC (1996), agentes anabolizantes permitidos pela legislação americana, para uso em novilhos e novilhas destinados ao abate, aumentam a taxa de crescimento, a eficiência de uso dos alimentos e a deposição de tecido magro. Sabe-se que a taxa de ganho é aumentada numa proporção maior que o aumento no consumo, consequência da maior eficiência alimentar. O efeito sobre as exigências pode ser justificado pelo aumento na proporção de proteína no ganho.

Como a equação de cálculo da ELg, eq. (14), foi desenvolvida para animais anabolizados (utilizando implantes estrogênicos), foram feitos ajustes para quando os animais não utilizaram anabolizantes e para quando utilizaram combinações de anabolizantes (Tabela 10). Há um desconto de 5% na ELgdisp quando não houver a utilização de implantes, um acréscimo de 2% quando se utilizar de combinações simples e um acréscimo de 8,4% quando se utilizar de combinações agressivas.

Tabela 10 – Multiplicadores para a equação de predição de energia líquida para ganho disponível (ELgdisp, Mcal/dia) em função do uso de implantes

Uso de implante	Fator implante
Nenhum	0,95
Simples	1,00
Combinação simples	1,02
Combinação agressiva	1,084

A fórmula para o cálculo da ELgdisp (Mcal/dia) além de multiplicar o consumo para ganho, kg MS/dia, pela ELg, Mcal/kg MS, leva em consideração o fator implante, eq. (15).

$$\text{ELgdisp (Mcal/dia)} = \text{Consumo p/ ganho} * \text{ELg} * \text{fator implante} \quad (15)$$

3.1.8 Ganho de peso

O modelo utiliza a equação do NRC (1984) para estimativa das exigências líquidas (energia retida) para ganho em Mcal/dia, a partir do ganho de peso em jejum, GPDj (kg/dia) e do peso metabólico eq. (16).

$$\text{ELg} = 0,0557 * \text{PV}^{0,75} * \text{GPDj}^{1,097} \quad (16)$$

Usando a mesma equação, podemos calcular o ganho diário, em kg/dia, a partir da ELg disponível, eq. (17).

$$\text{GPDj} = 13,91 * \text{ELgdisp}^{0,9116} * \text{PV}^{-0,6837} \quad (17)$$

Essas equações são para novilho jovem de tamanho corporal médio (NRC, 1984), desenvolvidas a partir de dados de alimentação e composição corporal de 3300 animais de Garret e Lofgreen (1968) na Califórnia, EUA, durante as décadas de 60 e 70.

Porém, como tais equações foram desenvolvidas para novilhos de tamanho corporal médio, o NRC (1996) propõe que seja feita uma correção para peso equivalente em função do grau de estrutura corporal (GEC, Tabela 11). Basicamente, esta estratégia consiste em criar fatores de

correção (multiplicadores), para cada uma das condições sexuais (machos inteiros, machos castrados e fêmeas), a fim de se obter o peso que corresponde ao do animal padrão (novilho de tamanho corporal médio) quanto à composição do ganho e conseqüentemente à exigência. O peso encontrado pela aplicação do fator, portanto é o peso equivalente. Por exemplo: um animal inteiro com GEC 6 tem como fator 0,79. Se ele pesar 500 kg, ele terá exigência equivalente a um novilho de tamanho corporal médio (GEC = 5) de 395 kg. Já outro animal inteiro de GEC 1 tem como fator 1,04. Se tivesse 500 kg de PV, teria a exigência equivalente a um novilho tamanho corporal médio de 520 kg .

Tabela 11 - Coeficientes para estimar o peso equivalente de bovinos em crescimento de diferentes condições sexuais e diferentes GEC ^{a,b}

Sexo	Grau de Estrutura Corporal (GEC)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Coeficiente de Ajuste ^a									
Tourinhos	1,04	0,98	0,93	0,88	0,83	0,79	0,76	0,73	0,69
Novilhos	1,25	1,19	1,13	1,06	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83
Fêmeas	1,56	1,47	1,39	1,32	1,25	1,19	1,14	1,09	1,04

^a Coeficiente é multiplicado pelo peso atual para obter peso (peso equivalente) de um novilho de GEC 5 (médio) com igual composição corporal para usar nas equações de estimativa de exigência de energia e ganho de peso.

^b Fonte: FOX; SNIFFEN; O'CONNOR (1988).

A classificação de GEC está relacionada às diferenças entre as raças na composição do ganho de peso. Raças de maturação jovem (e.g. Angus) tem exigências maiores do que raças tardias (e.g. Charolês, Marchigiana), pois depositam mais gordura quando comparadas a um mesmo peso. A tabela 12 resume as indicações de GEC feitas para alguns grupos genéticos ou cruzamentos utilizados no Brasil Central. O uso da altura na anca tem sido muito utilizado principalmente nos EUA para definir o GEC.

Tabela 12 – Sugestão de valores a serem assumidos grau de estrutura corporal (GEC) para diferentes raças e cruzamentos

Raças	GEC (Grau de Estrutura Corporal)
Gir de pequeno porte, “tucuras”	3
Gir, Nelore de pequeno porte	4
Nelore, Guzerá, Angus, Hereford	5
Nelore de grande porte, Canchim, Brangus	6
F1 Britânica x Nelore, Limousin	7
F1 Continental x Nelore, Simental	8
Holandês, Chianina, Charolês, Branhvieh	9

A equação adotada no presente modelo para estimativa do ganho de peso diário em jejum (GPDj, em kg/dia), utiliza o peso vivo equivalente ao invés do peso vivo, eq. (18).

$$\text{GPDj} = 13,91 * \text{ELgdisp}^{0,9116} * \text{PVe}^{-0,6837} \quad (18)$$

Onde ELgdisp é o resultado da eq. (15), em Mcal/dia e o PVeq, peso vivo equivalente em kg, é o resultado da multiplicação do peso vivo em jejum (PVj) pelo fator de peso equivalente (extraído da Tabela 11). Já para transformar o peso vivo em peso vivo em jejum o NRC (1996) sugere a multiplicação por 0,965, transformação válida também para se converter o ganho de peso diário em jejum (GPDj), em ganho de peso diário, neste caso divide-se por 0,956.

3.1.9 Eficiência de conversão de proteína metabolizável em proteína líquida

A partir do conhecimento de eficiência de utilização de proteína, podem-se converter as exigências de proteína metabolizável (PM) em exigências líquidas (PL). O presente modelo utiliza a solução proposta pelo NRC (1996) em que essa eficiência varia com o peso vivo e é definida como constante em 49,2% para animais com peso equivalente superior a 300kg e para aqueles com peso inferior a 300kg é utilizada a eq. (19).

$$\text{Eficiência PM} \rightarrow \text{PL} = (0,83 - (\text{PVe} * 0,891 * 0,001144)) * 100 \quad (19)$$

3.1.10 Exigência de proteína metabolizável para manutenção

A exigência de proteína para manutenção corresponde às perdas metabólicas fecais, urinárias e por descamação do epitélio. É difícil quantificar essas perdas, principalmente, em relação às perdas metabólicas fecais, já que é necessário separá-la em fração microbiana e fração proveniente do alimento, um processo extremamente trabalhoso. O NRC (1996) adotou, a partir dos trabalhos de Wilkerson; Klopfenstein; Britton, (1993), um valor diário de exigência de proteína metabolizável para manutenção (PM_{mant}, g/dia) calculado a partir da eq. (20).

$$PM_{mant} = 3,8 * PVM_j^{0,75} \quad (20)$$

Sendo PVM_j, o peso médio em jejum do animal no período analisado.

Esta equação é adotada no presente sistema, baseado em experimentos conduzidos na Universidade Federal de Viçosa (PAULINO; COSTA; VALADARES FILHO, 2004) que demonstraram valores de PM_{mant} para Zebuínos praticamente idênticos aos propostos pelo NRC.

3.1.11 Exigência de proteína metabolizável para ganho

A exigência líquida de proteína para ganho (PM_{ganho}, g/dia), também denominada como proteína retida é estimada através da eq. (21) adotada pelo NRC (1996) e pelo presente sistema.

$$PM_{ganho} = [(268 - (29,4 * ELg \text{ disp/GPDj})) * GPDj] / \text{Eficiência PM} \rightarrow \text{PL} * 0,01 \quad (21)$$

3.1.12 Exigência de proteína metabolizável

A exigência de proteína metabolizável total (PM_{total}, g/dia) é simplesmente a soma das exigências de proteína metabolizável para manutenção (PM_{mant}) e de proteína metabolizável para ganho (PM_{ganho}), eq. (22).

$$PM\ total = PM_{mant} + PM_{ganho} \quad (22)$$

3.1.13 Produção microbiana

A produção de proteína microbiana (g/dia) corresponde à eficiência do crescimento microbiano (g/unidade de energia), multiplicada pela quantidade de energia consumida pelo animal. É utilizado neste modelo quilogramas de nutrientes digestíveis totais (NDT). Lipídeos fornecem muito pouca energia aos microrganismos ruminais (NRC, 1996), portanto é preciso corrigir o NDT quando o nível de extrato etéreo (EE) da dieta ultrapassar 3,5%. Assim, para dietas com concentração de EE acima de 3,5% considera-se que este contribui com 2,25 unidades de energia na forma de NDT. A equação para determinação do NDT corrigido (NDTcorr) é a eq. (23).

$$NDT_{corr} = NDT - (EE - 3,5) * 2,25 \quad (23)$$

Sendo o NDT e o EE em porcentagem da MS da dieta.

A produção microbiana (Prod Microb, em g/dia) pode ser estimada através da eq. (24).

$$Prod\ Microb\ (g/dia) = (Crescimento\ Microbiano\ (\%) * NDT_{corr} * CMS * 10) / 100 \quad (24)$$

Em dietas onde o EE é menor que 3,5%, o NDTcorr é igual ao NDT da dieta.

A eficiência de 13%, ou 130 gramas de crescimento microbiano para cada 1 kg de NDT é utilizada (NRC, 1996).

3.1.14 Suprimento de proteína metabolizável do alimento

A proteína metabolizável é o somatório da proteína ingerida não degradada no rúmen com a proteína microbiana (produção microbiana). Portanto, para determinar a quantidade de proteína metabolizável (g/dia) que o animal deve ingerir, basta subtrair a produção microbiana (Prod Microb, g/dia) da exigência de proteína metabolizável total (PM total, g/dia). Porém deve-se ajustar a produção microbiana, multiplicando-a por 0,64, pois na proteína microbiana 80% são

considerados proteína verdadeira (NRC, 1985) e a mesma possui 80% de digestibilidade (NRC, 1985), eq. (25).

$$\text{Exig PM alimento} = \text{PM total} - (\text{Prod Microb} * 0,64) \quad (25)$$

3.1.15 Exigência de proteína bruta total

Para se estimar qual a exigência total de proteína bruta (PB, g/ dia), deve-se somar a proteína metabolizável disponível no alimento com a produção microbiana contabilizando, somente, a proteína metabolizável ingerida que é digestível e, por isso, divide-se a proteína metabolizável do alimento pela digestibilidade da proteína não degradável no rúmen (PNDR), eq. (26).

$$\text{Exig PB total} = (\text{Exig PM alimento} / \text{Digestibilidade PNDR}) + \text{Prod Microb} \quad (26)$$

A digestibilidade da proteína verdadeira não degradável no rúmen é por volta de 90%. No entanto quando algum alimento da dieta for submetido a tratamento de calor a digestibilidade da PNDR pode ser drasticamente reduzida e deve ser estimada através de digestão por pepsina ou detergente ácido (NRC, 1984).

3.1.16 Exigência de proteína bruta em porcentagem

Para o cálculo da exigência de PB em % da dieta, o sistema usa a eq. (27).

$$\text{Exig PB (\%)} = (\text{Ajuste Exig PB} * \text{Corr Exig PB} * \text{Exig PB total}/10/\text{CMS}) + \text{NFDA total} \quad (27)$$

O **Ajuste Exig PB** corresponde ao ajuste de exigência de PB que deve ser igual a 1 quando não houver evidências dos animais estarem em crescimento compensatório. O crescimento compensatório aumenta as exigências de proteína, e, conseqüentemente, o CMS e o ganho de peso. Parte do aumento do ganho corresponde, inicialmente, ao crescimento das vísceras.

A **Corr Exig PB**, corresponde a uma correção da exigência de proteína bruta conforme o nível de NDT da dieta. Em dietas com NDT menor que 60% a correção é de 6%; em dietas com

NDT maior que a 72% não há correção; e dietas com NDT entre 60 e 72% usam-se a equação proposta na tabela 13 para correção de exigência da PB.

Tabela 13 - Correção de exigência de proteína bruta (Corr Exig PB) pelo teor de energia da dieta

NDT (%) da dieta	Corr Exig PB
< 60	1,06
60 – 72	$1 + ((72 - \text{NDT}) * 0,05)$
> 72	1,00

Esses ajustes (Ajuste Exig PB e Corr Exig PB) devem ser multiplicados pela exigência de PB, em g/ dia, a qual deve ser dividida por 10 e em seguida dividida pelo **CMS**, em kg/dia, para termos a exigência de PB em porcentagem.

Finalmente é acrescido o **NFDA total** da dieta (em % da MS), ou seja, o nitrogênio ligado à fibra detergente ácida, que é uma forma de proteína indisponível ao animal.

3.1.17 Exigência de proteína degradável no rúmen

A exigência de proteína degradável no rúmen (PDR, % de MS), é estimada a partir de metodologia proposta pelo NRC (1996). Para tanto é necessário conhecer a degradabilidade efetiva da proteína bruta de cada alimento a partir de equações ou tabelas (INRA, 1989; TEDESCHI, 2001; AFRC, 1993), e também conhecer a disponibilidade de energia para os microrganismos do rúmen. A disponibilidade de PDR para atender os microrganismos é calculada usando os teores de proteína bruta de cada alimento e os coeficientes de degradabilidade de proteína bruta.

Para Boin; Tedeschi e Manella (2004) as dietas tipicamente praticadas no Brasil têm eficiência da produção de proteína microbiana entre 12,5 e 13% do NDT ingerido. Esses autores consideram também que a eficiência de captura do nitrogênio da proteína degradada no rúmen para o crescimento de microrganismos é de 100%. Isso porque o nitrogênio reciclado via uréia, estimado em 15% da PB ingerida, compensa as estimativas de captura de 90% para nitrogênio de proteína degradável de alimentos e 80% para nitrogênio fornecido por fontes de nitrogênio não protéico (NNP), como a uréia. Portanto, na formulação de rações consideramos que a exigência de PDR é igual a 12,5 a 13% (crescimento microbiano) do NDT da dieta. Quando o teor de EE

for maior que 3,5%, para estimar a exigência de PDR, deve-se utilizar o NDT corrigido, eq. (28) e eq. (29). Nas dietas onde o teor de EE for menor ou igual a 3,5% o NDT não precisa ser ajustado.

$$\text{Exigência PDR(\%), } > 3,5\% \text{ de EE} = \text{NDT corrig} * \text{Crescimento Microbiano(\%)/100} \quad (28)$$

$$\text{Exigência PDR(\%), } \leq 3,5\% \text{ de EE} = \text{NDT dieta} * \text{Crescimento Microbiano(\%)/100} \quad (29)$$

3.1.18 Exigência de fibra

Um dos parâmetros relacionados à fração fibra do alimento é a efetividade da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), i.e.o FDN fisicamente efetivo (FDNfe), que resulta da multiplicação da porcentagem de FDN pela sua efetividade física. Esse parâmetro é usado para estimar as taxas de passagem e pH ruminal, que influem na eficiência de síntese de proteína microbiana e na digestão efetiva no rúmen das frações de carboidratos e de proteína. Em laboratório, a efetividade física do FDN é determinada pela fração de partículas do alimento que fica retida em uma peneira de malha de 1,18 mm, quando submetidas à agitação vertical (MERTENS, 1986).

No presente sistema o FDNfe, em % de MS, é usado como o parâmetro para exigência de fibra. No estudo de Strasia e Gill (1990), citados por Fox et al. (1992) sugeriram valores mínimos de 15% de FDNfe, na MS total, para rações de crescimento e terminação de animais *B. taurus*. Para animais *B. indicus* a literatura sugere uma quantidade maior de fibra, um mínimo de 20% de FDNfe na MS total, para manutenção da saúde do animal.

3.1.19 Exigências de macrominerais

A exigência total de cada macroelemento mineral corresponde à soma das exigências para manutenção e produção (ARC, 1980). A exigência de manutenção é relativa às necessidades de cada mineral para atender as perdas inevitáveis, i.e. as secreções endógenas. Enquanto a exigência para produção corresponde à quantidade de cada mineral depositada no corpo do animal. Esta retenção depende da composição do ganho, sendo que maiores deposições de

gordura estão associadas a menores deposições de minerais. Portanto, os mesmos fatores que afetam a deposição de gordura no ganho também afetarão o depósito de minerais.

- Cálcio:

Segundo o NRC (1996), a exigência de cálcio para manutenção é de 15,4 mg Ca/ kg de peso vivo. A exigência para ganho está relacionada à deposição de proteína, 7,1 g Ca/100 g de proteína no ganho. O coeficiente de absorção verdadeira do cálcio da dieta é assumido em 50% (NRC, 1996). Portanto, este sistema propõe uma equação, eq. (30), para estimar as exigências de cálcio na dieta, em g/dia:

$$\text{Exig Ca (g/dia)} = 0,0154 * \text{PVMj}/0,5 + \text{PM ganho} * (\text{Ef PM} \rightarrow \text{PL} * 0,01 * 0,071/0,5) \quad (30)$$

Sendo PVMj, o peso vivo médio em jejum em kg; PM ganho, a proteína metabolizável exigida para ganho em g/dia; e Ef PM→PL, a eficiência de conversão de proteína metabolizável em proteína líquida.

Para conversão da exigência de Ca, em g/dia, para % da MS da ração, utiliza-se a eq. (31).

$$\text{Exig Ca (\%)} = \text{Exig Ca (g/dia)} * 0,1 / \text{CMS (kg MS/dia)} \quad (31)$$

- Fósforo:

Segundo o NRC (1996), a exigência de fósforo para manutenção é de 16 mg/kg de peso vivo. Assim como o Ca, a exigência de fósforo para ganho relaciona-se com a deposição de proteína, 3,9 g P/100 g proteína no ganho. Para calcular a exigência de P na dieta, assume-se um coeficiente de absorção de 68% (NRC, 1996). Assim, foi utilizada a equação, eq. (32), para estimativa da exigência de fósforo na dieta, em g/dia:

$$\text{Exig P (g/dia)} = 0,06 * \text{PVMj}/0,68 + \text{PM ganho} * (\text{Ef PM} \rightarrow \text{PL} * 0,01 * 0,045/0,68) \quad (32)$$

A conversão da exigência de P em g/dia para % da MS da ração pode ser feita através da eq. (33).

$$(33)$$

$$\text{Exig P (\%)} = \text{Exig P (g/dia)} * 0,1 / \text{CMS (kg MS/dia)}$$

- Potássio:

Segundo o NRC (1996) as exigências de potássio para gado de corte não são bem definidas e não foram separadas em exigências para manutenção e para ganho. Porém, a literatura sugere valores mínimos de 0,8% de potássio na MS da dieta (AFRC, 1993; NRC, 1996).

- Enxofre:

Assim como no caso do potássio, as exigências de enxofre para gado de corte também são bem definidas. Os diferentes sistemas (AFRC, 1993; NRC, 1996; FOX et al., 2003) sugerem consumos mínimos de 0,10 a 0,12% como adequados. Em função do uso de uréia em muitas dietas, e do baixo teor de enxofre em pastagens tropicais o valor 0,15% de enxofre na MS da dieta foi adotado no presente modelo. Entretanto, valores superiores a 0,18 - 0,20% podem causar depressões no consumo de alimentos.

- Sódio:

A exigência de sódio é separada em manutenção, mínimo de 15 mg/kg de PV e, ganho, 1,4 g/kg de GPD (NRC, 2000). A equação utilizada para cálculo da exigência mínima de consumo de sódio por dia (g/dia) é a eq. (34).

$$\text{Exig Na (g/dia)} = ((\text{PVMjejum} * 15 / 1000) + (\text{GPDj} * 1,4)) / (10 * \text{CMS}) \quad (34)$$

- Cloro:

Como, geralmente, o cloreto de sódio (NaCl) é a fonte de sódio e cloro na dieta, por ser prontamente disponível e apresentar baixo custo, as exigências de cloro são calculadas com base na exigência de sódio e na proporção molar de cloreto de sódio, eq. (35).

$$\text{Exig Cl (g/dia)} = \text{Exig Na} * 54/36 \quad (35)$$

- Magnésio:

Foi adotada a recomendação do NRC (1996) de exigência mínima de magnésio para bovinos em crescimento e em terminação que é de 0,1% da MS.

3.1.20 Exigências de microminerais

Praticamente não existe literatura nacional definindo as exigências de microminerais para bovinos de corte. Desta forma, foram utilizadas as recomendações do AFRC (1993), CSIRO (1990) e particularmente as do NRC (1996); Tabela 14.

Tabela 14 – Valores mínimos sugeridos para exigência de microminerais

Micromineral	Exigência mínima, ppm/kg de MS da ração
Cobalto	0,1
Cobre	10
Ferro	50
Iodo	0,5
Manganês	20
Selênio	0,1
Zinco	30

3.2 Estimativa do desempenho econômico

A segunda parte do modelo calcula variáveis de desempenho econômico, que auxiliarão a tomada de decisão.

3.2.1 Estimativa da eficiência alimentar da dieta

Para o cálculo da eficiência alimentar da dieta, i.e., quantas arrobas (@) pode-se produzir com 1 tonelada de MS da referida dieta, primeiro se deve determinar a conversão alimentar (CA) dos animais em questão. Esta indica quantos kg de MS da dieta são necessários para cada quilograma de ganho do animal (GPDj) e seu valor é obtido através da eq. (36).

$$CA = CMS \text{ (kg MS/dia)} / GPDj \text{ (kg/dia)} \quad (36)$$

O segundo passo é obter o rendimento de carcaça do ganho (RCg, %), eq. (37). Para tal é necessário saber o peso vivo em jejum ao início do período (PVIj) e o peso vivo em jejum ao final (PVFj), assim como os rendimentos de carcaça, no início (RCi, %) e no final (RCf, %) do período, e também o ganho de peso correspondente a todo período (GPTj).

$$RCg (\%) = [(PVFj * RCf) - (PVIj * RCi)] / GPTj \quad (37)$$

Assim, a eficiência alimentar da dieta (@/t MS), pode ser obtida através da eq. (38), onde 1 @ equivale a 15 kg de carcaça.

$$EfAlim (@/tMS) = 1000/CA * RCg * 0,01/15 \quad (38)$$

3.2.2 Estimativa do custo diário por cabeça

No sentido econômico, o custo de produção é dividido em custos fixos e variáveis. Daí, para obter o custo diário por cabeça, eq. (39), basta somar os custos com alimentação aos custos com aditivos (ionóforos e implantes) e, finalmente, aos custos fixos e variáveis que não incluem a alimentação.

$$\text{Custo cab dia (\$/cab.dia)} = \$ \text{MS total} * \text{CMS} / 1000 + \$ \text{ionóforo} + \$ \text{implante} + \quad (39) \\ \text{Custos fixos} + \text{variáveis sem alimentação}$$

No modelo o campo de custos fixos + variáveis sem alimentação é um parâmetro usado para agregar outros custos além daqueles com a aquisição dos alimentos. No RLM 3.0 (2005) este item deve ser informado pelo usuário na entrada dos dados.

3.2.3 Estimativa do custo do ganho por arroba

O custo do ganho por arroba, i.e. o custo de ganho de carcaça, (\$/@ produzida) é uma das variáveis fundamentais para identificar a ração de lucro máximo, ou seja, uma dieta que produza a unidade de carcaça de menor custo possível. Para obtenção dessa variável o custo cabeça dia

(\$/cab.dia), obtido através da eq. (40), é dividido pelo GPDj (kg/dia) e pelo RCg (%), convertendo kg em @.

$$\text{Custo ganho por arroba (\$/@)} = \text{Custo cab dia} * (15 / \text{GPDj} * \text{RCg} * 0,01) \quad (40)$$

3.3 Validação do modelo

A etapa de validação de sistemas de suporte à decisão talvez seja a que mais dificuldade apresenta (RESENDE FILHO, 1997). A validação de modelos matemáticos aplicados à agricultura apresenta dificuldades conceituais e práticas, sendo o objetivo da validação assegurar que o modelo seja adequado para a finalidade do seu uso (HARRISON, 1990).

A validação foi feita utilizando-se dados experimentais independentes e dados de confinamentos comerciais. Utilizaram-se os procedimentos estatísticos descritos por Rayburn e Fox (1990) e de Fox et al. (1992), nas comparações dos modelos usados pelo CNCPS (FOX et al., 2003) e pelo NRC (1984). Com base nesses procedimentos compararam-se os resultados de desempenho preditos pelo modelo aos resultados observados de desempenhos e, verificou-se a acurácia e a precisão do modelo.

3.3.1 Dados experimentais

Efetou-se um levantamento nas publicações da Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, nos últimos dez anos, de experimentos que pudessem ser utilizados para validar o modelo animal. Para tanto, esses experimentos deveriam disponibilizar uma série de dados que são entradas do modelo.

Para um determinado experimento ser selecionado ele deveria preencher, ao menos, os seguintes pré-requisitos:

- Disponibilizar o CMS médio diário;
- Ser um experimento de confinamento;
- Disponibilizar a dieta completa, ou ao menos, os níveis totais de energia (NDT, %) e proteína (PB, %);
- Disponibilidade dos pesos de entrada e de saída individuais, ou médios do lote;

- Disponibilidade do ganho de peso diário individual ou médio do lote;
- Disponibilidade do rendimento de carcaça inicial e final, ou ao menos o final individual ou médio do lote;
- Informar se foi utilizado ou não algum aditivo (ionóforo ou implante) e indicar o princípio ativo do mesmo;
- Dados oriundos de universidades ou estações experimentais, com protocolo bem definido.

O nível de NDT e de PB da dieta são utilizados para predição do desempenho (consumo e ganho de peso), tornando-se parâmetros imprescindíveis. O rendimento de carcaça inicial (ao início do período de alimentação) é raramente obtido e é dependente de vários fatores como raça, tipo de alimentação e tempo (em horas) entre a retirada dos animais e a pesagem. Portanto, na ausência desse dado optou-se por estimar seu valor em 2 pontos percentuais a menos que o rendimento de carcaça final. Se os animais fossem pesados várias horas após a remoção do piquete optou-se por considerar o rendimento de carcaça inicial próximo ao rendimento final. Já o rendimento de carcaça final foi obtido diretamente por pesagem ao abate.

Outro dado difícil de obter é o tamanho corporal ou grau de estrutura corporal. Desta forma, em função da raça, foram utilizados os valores da tabela 12.

A seguir estão descritas a origem dos 21 experimentos utilizados na validação, com os seus respectivos autores e ano de publicação (Tabela 15).

Tabela 15 – Relação dos trabalhos utilizados na validação do sistema proposto

Trabalho	Autores (Ano de Publicação)
I	Lima; Zanetti (1996)
II	D'Oliveira et al., (1997)
III	Jorge et al. (1997)
IV	Ferreira et al. (1998)
V	Henrique et al. (1998)
VI	Seixas et al. (1999)
VII	Prado; Martins (1999)
VIII	Prado et al. (2000)
IX	Ataide Junior et al. (2001)
X	Lana; Fox (2001)
XI	Neumann et al. (2001)
XII	Resende et al. (2001)
XIII	Faturi et al. (2003)
XIV	Leme et al. (2003)
XV	Arboitte et al. (2004)
XVI	Cruz et al. (2004)
XVII	Fernandes et al. (2004)
XVIII	Henrique et al. (2004)
XIX	Restle et al. (2004)
XX	Costa et al. (2005)
XXI	Goulart et al. (2006)

Nas simulações tanto de dados experimentais, quanto comerciais foram utilizadas médias por tratamento, uma vez que os dados individuais não foram disponibilizados.

Cada trabalho experimental foi simulado separadamente por tratamento, contando assim, para a validação, com as médias de consumo e ganho de peso diário de cada tratamento, ou seja, cada tratamento representou uma unidade experimental.

A seguir estão descritas as principais características dos trabalhos utilizados e dos seus tratamentos (Tabela 16).

Tabela 16 – Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

(continua)

Trabalho	Tratamento	Raça ^a	Sexo	%NDT	%PB	Aditivo
I	A	Hol X Ne	Inteiro	64,70	10,80	-
	B	Hol X Ne	Inteiro	67,00	11,95	-
	C	Hol X Ne	Inteiro	67,80	12,40	-
	D	Hol X Ne	Inteiro	64,20	12,05	-
	E	Hol X Ne	Inteiro	64,60	11,40	-
II	A	Nelore	Novilha	70,10	15,40	Monensina
	B	Nelore	Novilha	71,30	17,00	Monensina
III	A	Nelore	Inteiro	65,90	12,82	-
	B	An X Ne	Inteiro	65,90	12,82	-
	C	Hol X Ne	Inteiro	65,90	12,82	-
IV	A	Sim X Ne	Inteiro	63,08	8,48	-
	B	Sim X Ne	Inteiro	62,51	10,82	-
	C	Sim X Ne	Inteiro	67,31	13,01	-
	D	Sim X Ne	Inteiro	71,33	15,28	-
	E	Sim X Ne	Inteiro	75,26	16,90	-
V	A	Sta. Gertrudes	Inteiro	65,40	7,40	Monensina
	B	Sta. Gertrudes	Inteiro	80,40	13,60	Monensina
	C	Sta. Gertrudes	Inteiro	65,10	12,00	Monensina
	D	Sta. Gertrudes	Inteiro	74,90	14,50	Monensina
VI	A	Cont X Ne	Castrado	72,10	13,40	-
	B	Cont X Ne	Castrado	72,90	13,00	-
	C	Cont X Ne	Castrado	68,90	13,90	-
VII	A	Nelore	Novilha	63,40	10,30	Monensina
	B	Nelore	Novilha	64,00	10,10	Monensina
VIII	A	Nelore	Novilha	70,20	14,20	Monensina
	B	Nelore	Novilha	70,00	14,10	Monensina
	C	Nelore	Novilha	69,80	14,00	Monensina
	D	Nelore	Novilha	69,60	14,00	Monensina

Tabela 16 – Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

(continuação)

Trabalho	Tratamento	Raça ^a	Sexo	%NDT	%PB	Aditivo
IX	A	Nelore	Inteiro	58,90	14,20	-
	B	Nelore	Inteiro	62,00	12,70	-
	C	Nelore	Inteiro	58,20	11,30	-
X	A	Angus	Inteiro	80,40	13,50	-
	B	Angus	Inteiro	80,40	13,50	-
	C	Angus	Inteiro	80,80	13,50	-
	D	Angus	Inteiro	80,80	13,50	-
	E	Angus	Inteiro	84,60	13,50	-
	F	Angus	Inteiro	84,60	13,50	-
	G	Angus	Inteiro	85,10	13,50	-
	H	Angus	Inteiro	85,10	13,50	-
XI	A	Cont X Ne	Inteiro	64,30	14,60	Monensina
	B	Cont X Ne	Inteiro	64,10	14,70	Monensina
	C	Cont X Ne	Inteiro	63,30	15,00	Monensina
	D	Cont X Ne	Inteiro	66,00	14,10	Monensina
XII	A	Cont X Ne	Castrado	48,90	13,72	-
	B	Cont X Ne	Castrado	55,90	14,27	-
	C	Cont X Ne	Castrado	61,40	14,30	-
	D	Cont X Ne	Castrado	62,50	11,36	-
	E	Cont X Ne	Castrado	66,60	14,17	-
XIII	A	Nelore	Inteiro	62,20	9,40	Monensina
	B	Nelore	Inteiro	66,10	10,30	Monensina
	C	Nelore	Inteiro	61,30	9,40	Monensina
	D	Nelore	Inteiro	65,20	10,20	Monensina
	E	Nelore	Inteiro	60,30	9,40	Monensina
	F	Nelore	Inteiro	64,20	10,20	Monensina
	G	Nelore	Inteiro	59,40	9,40	Monensina
	H	Nelore	Inteiro	63,00	10,90	Monensina

Tabela 16 – Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

(continuação)

Trabalho	Tratamento	Raça ^a	Sexo	%NDT	%PB	Aditivo
XIV	A	Nelore	Inteiro	74,50	14,60	Monensina
	B	Nelore	Inteiro	71,40	14,30	Monensina
	C	Nelore	Inteiro	70,00	13,00	-
	D	Can X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	E	Can X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	F	Can X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	G	Lim X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	H	Lim X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	I	Lim X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	J	Canchim	Inteiro	70,00	13,00	-
	L	Canchim	Inteiro	70,00	13,00	-
	M	Canchim	Inteiro	70,00	13,00	-
	N	Pie X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	O	Pie X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
	P	Pie X Ne	Inteiro	70,00	13,00	-
XVII	A	Nelore	Inteiro	68,76	16,64	-
	B	Hol X Ne	Inteiro	68,76	16,64	-
	C	Car X Ne	Inteiro	68,76	16,64	-
	D	Nelore	Inteiro	68,76	16,64	-
	E	Hol X Ne	Inteiro	68,76	16,64	-
	F	Car X Ne	Inteiro	68,76	16,64	-
XVIII	A	Sta. Gertrudes	Inteiro	82,73	13,60	Monensina
	B	Sta. Gertrudes	Inteiro	81,57	13,70	Monensina
	C	Sta. Gertrudes	Inteiro	80,17	13,60	Monensina
	D	Sta. Gertrudes	Inteiro	78,94	13,60	Monensina
XIX	A	Ch X Ne	Inteiro	68,13	11,13	Monensina
	B	Ch X Ne	Inteiro	66,80	11,34	Monensina
	C	Ch X Ne	Inteiro	65,20	11,55	Monensina

Tabela 16 – Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

						(conclusão)
Trabalho	Tratamento	Raça ^a	Sexo	%NDT	%PB	Aditivo
XIX	D	Ch X Ne	Inteiro	63,83	11,78	Monensina
	E	Ch X Ne	Inteiro	62,25	11,98	Monensina
XX	A	Nelore	Castrado	65,60	17,40	-
	B	Nelore	Castrado	69,60	16,30	-
	C	Nelore	Castrado	74,30	15,50	-
XXI	A	Nelore	Inteiro	68,69	13,34	-
	B	Can X Ne	Inteiro	68,69	13,34	-
	C	An X Ne	Inteiro	68,69	13,34	-
	D	Sim X Ne	Inteiro	68,69	13,34	-

^a Abreviaturas de raças: Hol = Holandês; Ne = Nelore; An = Angus; Sim = Simental; Cont = Raça Continental; Can = Canchim; Lim = Limousin; Pie = Pimenontês; Car = Caracu; Ch = Charolês.

Na Tabela 17 estão descritas outras características importantes dos 21 trabalhos utilizados, como PVj inicial e final, número de animais por tratamento e número de dias em confinamento.

Dentre as 99 unidades experimentais, a variabilidade no peso dos animais foi ampla: pesos iniciais de 205 a 424 kg PVj e pesos finais de 298 a 550 kg PVj. Quanto ao período de confinamento dos experimentos variaram de 30 a 175 dias.

Tabela 17 - Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

(continua)

Trabalho	Tratamento	No. Animais	PVj inicial (kg)	PVj final (kg)	Dias de confinamento
I	A	8	394,1	493,2	84
	B	8	390,8	496,5	84
	C	8	390,4	497,7	84
	D	8	388,3	475,8	84
	E	8	389,6	476,4	84
II	A	10	248,5	325,7	70
	B	10	249,8	328,8	70
III	A	7	299,8	450,0	132
	B	8	406,1	550,0	109
	C	8	359,5	550,0	143
IV	A	5	354,0	500,0	175
	B	5	354,0	500,0	146
	C	5	354,0	500,0	142
	D	5	354,0	500,0	111
	E	5	354,0	500,0	84
V	A	7	228,1	400,7	172
	B	7	232,0	405,9	123
	C	7	233,9	413,0	172
	D	7	226,6	318,3	123
VI	A	10	300,0	391,2	80
	B	10	300,0	393,6	80
	C	10	300,0	398,4	80
VII	A	15	228,3	322,9	76
	B	15	222,5	303,5	76
VIII	A	14	214,4	315,3	84
	B	14	220,9	316,8	84
	C	14	207,7	305,1	84

Tabela 17 - Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

(continuação)

Trabalho	Tratamento	No. Animais	PVj inicial (kg)	PVj final (kg)	Dias de confinamento
VIII	D	14	205,4	297,5	84
IX	A	6	345,0	460,08	100
	B	6	345,0	437,4	100
	C	6	345,0	445,8	100
X	A	5	302,0	489,0	112
	B	5	287,0	457,0	112
	C	5	295,0	485,0	112
	D	5	292,0	461,0	112
	E	5	302,0	462,0	112
	F	5	303,0	470,0	112
	G	5	300,0	471,0	112
	H	5	305,0	444,0	112
XI	A	16	316,0	392,1	79
	B	16	316,0	398,5	79
	C	16	316,0	388,8	79
	D	16	316,0	388,8	79
XII	A	5	310,0	381,2	84
	B	5	310,0	396,5	84
	C	5	310,0	408,3	84
	D	5	310,0	429,2	84
	E	5	310,0	424,6	84
XIII	A	4	377,7	421,0	67
	B	4	421,0	464,3	67
	C	4	378,4	420,4	67
	D	4	420,4	462,4	67
	E	4	385,9	426,9	67
	F	4	426,9	467,1	67

Tabela 17 - Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

(continuação)

Trabalho	Tratamento	No. Animais	PVj inicial (kg)	PVj final (kg)	Dias de confinamento
XIII	G	4	388,3	423,6	67
	H	4	423,6	458,9	67
XIV	A	8	277,0	423,0	98
	B	8	279,0	424,0	98
	C	8	281,0	416,0	98
XV	A	6	362,0	425,0	30
	B	6	358,0	467,0	65
	C	6	263,0	510,0	94
XVI	A	6	214,0	376,1	122
	B	6	214,0	387,1	138
	C	6	214,0	400,3	150
	D	6	265,0	404,1	58
	E	6	265,0	427,8	88
	F	6	265,0	448,6	102
	G	6	265,0	405,3	46
	H	6	265,0	440,3	65
	I	6	265,0	481,2	102
	J	6	265,0	413,5	55
	L	6	265,0	437,7	87
	M	6	265,0	465,5	110
	N	6	265,0	400,0	93
	O	6	265,0	435,0	117
	P	6	265,0	464,7	123
XVII	A	6	205,0	310,0	86
	B	6	205,0	310,0	92
	C	6	205,0	310,0	161
	D	6	310,0	450,0	122

Tabela 17 - Características dos experimentos utilizados para validação do modelo

(conclusão)					
Trabalho	Tratamento	No. Animais	PVj inicial (kg)	PVj final (kg)	Dias de confinamento
XVII	E	6	310,0	480,0	126
	F	6	310,0	480,0	122
XVIII	A	7	302,63	429,71	92
	B	7	306,43	452,71	92
	C	7	312,43	450,43	92
	D	7	313,18	454,86	92
XIX	A	5	307,1	416,3	105
	B	5	306,9	437,3	105
	C	5	308,1	440,2	105
	D	5	307,5	440,2	105
	E	5	310,8	437,6	105
XX	A	4	270	343,03	109
	B	4	270	363,6	104
	C	4	270	379,14	102
XXI	A	8	296	450,88	101
	B	8	302,25	453,5	101
	C	8	336	408,25	101
	D	8	305	465,38	101

3.3.2 Dados comerciais

3.3.2.1 Introdução

Dados de desempenho de dois grandes confinamentos comerciais brasileiros foram usados na presente análise: Confinamento “MT”, situado no município de Barra do Garças, Estado do Mato Grosso, e Confinamento “MS”, situado no município de Brasilândia, Estado do Mato Grosso do Sul. Os anos de confinamento incluídos na validação foram de 2002, 2003 e 2004.

O confinamento MS tem capacidade de alojar 15.000 bovinos simultaneamente, mas como nos últimos anos adotaram praticamente 2,5 turnos por ano (ou 2,5 lotes por curral por ano de confinamento), o número total de bovinos terminados por ano está em torno de 45.000 animais. Os currais apresentam, em média, capacidade para 160 bovinos por curral. Há quatro corredores de manejo e oito linhas de cocho. Aproximadamente 90% dos bovinos confinados são oriundos das fazendas de cria do mesmo grupo e somente 10% são adquiridos na região. Regularmente são fornecidos quatro tratos diários, sendo que 60% da MS oferecida é disponibilizada nas horas de temperatura mais amena (primeiro e último tratos). No banco de dados disponibilizado há um predomínio de animais inteiros, sejam eles anelados ou cruzados (F1 Britânico X Nelore).

No confinamento MT o número total de bovinos terminados por ano foi em torno de 22.000 animais. Os 90 currais existentes são de diferentes tamanhos, mas a maioria apresenta capacidade de alojar 252 bovinos por curral. Há sete corredores de manejo e sete linhas de cocho. Da mesma forma que no confinamento MS, são fornecidos quatro tratos diários, sendo que 60% da MS oferecida é disponibilizada nas horas de temperatura mais amena (primeiro e último tratos). Há predomínio de bovinos castrados e da raça Nelore no banco de dados disponibilizado, apesar de trabalharem também com cruzados Britânico X Nelore.

3.3.2.2 Descrição da dieta

A descrição da dieta utilizada em ambos os confinamentos, MS ou MT, foi bastante variável de acordo com o ano, tipo biológico (raça, sexo, peso vivo e potencial de ganho compensatório dos animais), mês do ano (data de chegada dos animais, características e preços dos alimentos). Geralmente foi utilizada uma dieta de adaptação e outra para o restante do período de confinamento.

Foi preciso ao menos definir três parâmetros médios: concentração energética da dieta, concentração protéica da dieta e uso de ionóforos. Esses três fatores são fundamentais e devem ser conhecidos para que o consumo de MS e o ganho de peso possam ser corretamente estimados. Outros fatores como grau de estrutura corporal tiveram que ser estimados.

A concentração energética e protéica das dietas assim como o princípio ativo do ionóforo usado nas dietas de ambos os confinamentos, nos três anos em questão, estão descritos da tabela 18 e foram compartilhados por Lanna (informação verbal²).

Tabela 18 – Concentração energética e protéica das dietas e uso de ionóforos nos confinamentos MS e MT nos anos de 2002, 2003 e 2004

Variáveis	MS-2002	MS-2003/4	MT-2002	MT-2003/4
NDT, %	72,25	71,75	75,0	72,0
PB, %	13,9	13,9	13,9	13,9
Uso de ionóforo	Sim	Sim	Sim	Sim
Princípio usado	Monensina	Salinomicina	Monensina	Salinomicina

Assumiu-se que todos os animais dos confinamentos MT e MS apresentaram um ganho compensatório moderado, (o modelo assume como opções: nenhum, moderado ou intenso ganho compensatório). Embora esta estimativa média de ganho compensatório moderado represente a situação média dos animais (conforme descrição dos responsáveis técnicos), seria importante no futuro obter bancos de dados que tenham informações do grau e da duração da restrição alimentar prévia.

3.3.2.3 Edição dos dados brutos

Antes da validação, cada lote de animais foi categorizado quanto ao sexo e à raça predominante. Assumiu-se que um lote seria classificado como “castrado” se 90% ou mais dos animais pertencentes a esse lote fossem de fato castrados. Da mesma maneira, para um lote ser classificado como “inteiro” 90% ou mais dos animais desse lote deveriam ser bovinos não castrados. Os lotes com percentuais abaixo de 90% eram categorizados como lotes “mistos” quanto ao sexo.

O mesmo procedimento foi adotado para categorizar a raça predominante. Assumiu-se que um lote seria classificado como “Nelore” se 90% ou mais dos animais pertencentes a esse lote fossem de fato desta raça. Da mesma maneira para um lote ser classificado como “cruzado” 90%

² Informação fornecida por Lanna em Piracicaba, em novembro de 2004.

ou mais dos animais do lote deveriam apresentar tal condição racial. Os lotes com percentuais abaixo de 90% eram categorizados como lotes “mistos” quanto à raça.

O arquivo original tinha 892 lotes, totalizando 160.463 animais, assim distribuídos:

- Por confinamento: 565 lotes do confinamento MS e 327 lotes do confinamento MT.
- Por ano: 253 lotes em 2002, 347 lotes em 2003 e 292 lotes em 2004.
- Por sexo: 196 lotes de machos castrados, 563 lotes de machos inteiros, 118 lotes de fêmeas e 15 lotes mistos.
- Por raça: 418 lotes Nelore, 263 lotes cruzados e 211 lotes mistos.

Dos 211 lotes mistos quanto à raça, 196 lotes (93%) são do confinamento MS, evidenciando que, pelo menos nos três anos avaliados, não havia preocupação nesse confinamento quanto a apartação dos animais de distintos grupamentos raciais.

Dos 196 lotes de machos castrados, 191 lotes (97%) são do confinamento MT, confirmando a preferência por animais castrados nesse confinamento. Por outro lado, dos 563 lotes de machos inteiros, 462 lotes (82%) são do confinamento MS, confirmando, por sua vez, a preferência deste por animais não castrados. Dos 118 lotes de fêmeas, 94 lotes (80%) eram oriundos do confinamento MS. Pode-se observar a baixa frequência de lotes mistos quanto a sexo em ambos os confinamentos, onde somente 15 lotes foram assim categorizados dentro dos 892 lotes originais.

Assim como visto nos dados experimentais (item 3.3.1), para os dados comerciais também foram impostas algumas restrições aos dados originais:

- Exclusão de lotes mistos, tanto quanto a sexo como quanto à raça;
- Exclusão dos lotes de fêmeas, pelo menor número de lotes e pela impossibilidade de distinguir lotes de vacas e de bezerras/novilhas;
- Exclusão de lotes com período de confinamento muito curto (menos de 15 dias);
- Exclusão de lotes com dados de consumo ou de ganho de peso contendo erros de digitação ou de mensuração no confinamento.

Para diminuir a perda de dados, a seleção foi distinta entre, os dados que seriam utilizados para validar o consumo e os dados que seriam utilizados para validar o ganho diário de peso.

Assim, pode ser que um determinado lote utilizado na validação do consumo não tenha sido utilizado na validação do ganho de peso, ou vice-versa.

Após uma série de edições dos dados brutos, restaram dos 892 lotes e 160.463 animais, 514 lotes e 96.963 animais para a validação do consumo de matéria seca e 496 lotes e 92.948 animais para a validação do ganho de peso diário. Ou seja, 57,6% dos lotes e 60,4% dos animais participaram da validação do consumo e 55,6% dos lotes e 57,9% dos animais participaram da validação do ganho de peso.

A exclusão dos lotes mistos, quanto à raça e sexo, foi a grande responsável pela maior perda de dados (226 lotes, ou 25,3%). Porém não seria possível proceder a validação utilizando lotes mistos uma vez que a raça é necessária para se predizer o consumo e o ganho de peso.

3.4 Execução da validação

A validação, tanto dos dados experimentais como dos dados comerciais foi feita da mesma maneira, porém separadamente, para que não houvesse influência da origem dos dados nos resultados.

A validação se procedeu em três etapas:

- Inseriram-se os dados de entrada do modelo numa planilha (peso vivo inicial em jejum, peso vivo final em jejum, rendimento de carcaça inicial, rendimento de carcaça final, raça, sexo, tamanho corporal, existência ou não de ganho compensatório, uso de implantes e ionóforos);
- As equações do modelo animal, utilizando os dados de entrada, revelaram o consumo de matéria seca diário (CMS, kg/dia) e o ganho de peso diário em jejum (GPDj, kg/dia) preditos;
- Utilizando-se do ajuste para consumo, em %, calculou-se uma porcentagem tal que forçaria o modelo a predizer o consumo que foi de fato observado. A partir do consumo observado obteve-se o ganho de peso predito pelo modelo.

Dessa maneira, a validação gerou 3 variáveis: consumo predito, ganho de peso diário predito e ganho de peso diário predito à partir do consumo observado.

No caso especial de validação feita em duas etapas, utilizou a metodologia descrita por Almeida (2005, p.130) para cálculo do CMS, em % do PV, com equações polinomiais de 4º grau em função da variável “dias de confinamento”. Isto se fez necessário porque tanto os dados disponibilizados de consumo quanto de ganho de peso eram médios de todo o período, não demonstrando assim a variabilidade que ocorre com o consumo ao longo do período. A partir do cálculo do CMS (%PV) médio da primeira etapa (primeiros 50 dias) conseguiu estimar o GPDj médio correspondente; da mesma maneira que a partir do CMS (%PV) médio da segunda etapa (a partir do 51º dia) estimou-se o GPDj médio dessa fase. Através da média, ponderada de acordo com o número de dias de cada etapa, chegou-se ao GPDj médio do período total de confinamento. Essas validações em duas etapas (item 4.23) foram utilizadas frente aos resultados encontrados na validação para confinamentos longos, onde verificou-se a presença de ganho compensatório somente numa fase inicial. Daí, no modelo utilizou-se de ajustes de compensatório moderado nos primeiros 50 dias e ausência de compensatório no restante do período.

3.5 Análises estatísticas

A acurácia e a precisão do modelo foram testadas calculando-se o CMS e GPDj preditos pelo modelo e comparando-os aos valores observados em confinamento. Também foi calculado o GPDj com base no consumo observado.

Segundo Barioni (1997), a análise de regressão simples é talvez o melhor teste estatístico para validação e um dos mais largamente utilizados nos dias de hoje. Esta é realizada com médias das saídas do modelo e de medidas do sistema real, como sendo observações pareadas. Nesse trabalho, regressões lineares foram traçadas entre valores preditos e observados e obtiveram-se também a análise dos resíduos. Os resíduos foram calculados pela diferença entre CMS ou GPDj predito do CMS ou GPDj observado, respectivamente, e foram plotados em gráficos em função de algumas variáveis, como peso médio e dias em confinamento.

Tanto a inserção das equações do modelo, a edição dos dados para validação e as análises de regressões e de resíduos foram feitas em planilha Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma breve descrição dos dados médios de peso inicial e final, bem como dos resultados observados e preditos estão na tabela 19. Embora os valores médios representem o que se observa em confinamentos comerciais no Brasil, é possível notar que há grande variabilidade entre os lotes, com grande amplitude entre as observações de máximos e mínimos.

Um aspecto interessante quanto à amplitude dos dados comerciais é que esta foi maior para os dados observados do que os preditos. Isto parece consistente com o esperado do ambiente comercial, uma vez que há vários fatores não controlados (erros de alimentação, problemas de coleta dos dados, etc.) uma vez que o arquivo utilizado tem um volume muito grande de cabeças e de lotes. Nota-se que para os dados experimentais a amplitude dos resultados observados foi inferior à das predições.

Tabela 19 – Média, coeficiente de variação (CV, %), valores mínimos e máximos para PVj inicial (kg), PVj final (kg), CMS observado (kg/dia), GPDj observado (kg/dia), CMS predito (kg/dia) e GPDj predito (kg/dia); e relação em % entre CMS predito e observado e entre GPDj predito e observado dos dados experimentais e comerciais

		Dados Observados				Dados Preditos			
		PVj inicial	PVj final	CMS	GPDj	CMS pred	%CMS pred/obs	GPDj pred ¹	%GPDj pred ¹ /obs
Confinamentos Experimentais	Média	301,8	426,0	8,8	1,28	8,6	98,1	1,29	100,8
	CV	18,7	13,3	17,7	20,70	14,0		25,46	
	Min	205,0	297,5	4,5	0,65	6,0		0,45	
	Máx	426,9	550,0	12,8	2,10	10,9		1,93	
Confinamentos Comerciais	Média	339,2	458,6	9,5	1,35	9,2	96,7	1,49	110,4
	CV	17,0	12,4	15,5	18,15	10,5		14,87	
	Min	153,6	186,2	2,7	0,37	5,1		0,46	
	Máx	600,0	645,8	14,8	2,39	12,8		2,62	

¹GPDj predito com base no CMS real.

As estimativas médias tanto de consumo quanto de ganho para os experimentos comerciais foram muito próximas. Entretanto, houve uma superestimativa do ganho de peso para os dados dos confinamentos comerciais (110,4% do observado). Esta superestimativa pode ser causada

principalmente porque o GPDj foi ajustado para o consumo “observado”. Nestes confinamentos o alimento é sobreposto de 3 a 5 vezes ao dia, entretanto em algumas oportunidades o cocho é limpo (chuvas, excesso de alimento no cocho, mudança do lote de curral, entre outras situações) e portanto o consumo “observado” é na realidade a quantidade de alimento disponibilizada para o lote por dia, não necessariamente o que foi consumido. Desta forma é previsível que o ganho seja superestimado quando o ajuste é feito para a quantidade de alimento disponibilizada e não para o consumo real do animal.

Quanto ao consumo, a subestimativa seria justificada tanto pelo que foi descrito acima, quanto pela enorme dificuldade de estimar o efeito do ganho compensatório. Como descrito no material e métodos, foi utilizada nas simulações os parâmetros de “compensação moderada” (10% a mais de consumo e 10% a menos de exigência de manutenção), porém é possível prever que uma boa proporção dos animais deveria estar expressando “compensação intensa” (cerca de 20% de redução na exigência de manutenção e 20% de aumento no consumo).

Uma segunda justificativa para a superestimativa do ganho, estaria no potencial genético dos animais. Os experimentos conduzidos na ESALQ e IZ, que foram utilizados para elaboração das equações do modelo, utilizam animais geneticamente superiores ao padrão médio encontrado nos confinamentos comerciais. Portanto, é possível que o valor médio do grau de estrutura corporal utilizado (grau 5 para Nelore e 6 para cruzado) tenha superestimado o valor que deveria ser empregado para o animal padrão que chega aos confinamentos comerciais brasileiros (e.g.: 4 para Nelore e 5 para cruzado).

4.1 Resultados das validações experimentais

A primeira parte da validação foi realizada utilizando o banco de dados de experimentos independentes publicados na Revista Brasileira de Zootecnia de 1996 a 2006, e usando o CMS e GPDj médios de cada tratamento.

Comparando-se o CMS observado e predito, bem como avaliando a dispersão dos pontos em relação à uma regressão perfeita ($Y=X$), verifica-se que o modelo apresentou a tendência de superestimar o CMS quando o CMS observado se mostrou menor que 6 kg/dia, enquanto subestima o CMS quando o CMS observado foi maior que 10 kg/dia. Já, quando o CMS

observado se apresentou entre 8 e 10 kg/dia o modelo mostrou boa acurácia, apesar da dispersão dos pontos (Figura 6) sugerir que há possibilidade de aumentarmos a precisão da estimativa.

A equação de estimativa do CMS do modelo proposto apresenta R^2 de 67,9%, enquanto no NRC (1996) o R^2 é de 59,8%. Isto demonstra que o modelo funciona pelo menos tão bem para a condição nacional quanto ocorre para a condição norte-americana.

Figura 6 – Relação entre os CMS observado, para os dados experimentais. A linha cheia corresponde a $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Apesar de a precisão ser mais elevada que a reportada pelo NRC, uma avaliação do comportamento dos resíduos em relação ao peso médio (Figura 7) sugere uma elevada dispersão principalmente nos lotes acima de 350kg.

Figura 7 - Relação entre os valores de resíduos de CMS predito – observado em relação ao peso vivo médio, para os dados experimentais

Para as validações da equação de predição de ganho de peso diário em jejum (GPDj, kg/dia), o modelo apresentou predição com R^2 de 48,7% (Figura 8). As predições são acuradas, e precisas para ganhos de peso na faixa de 1,3 a 1,5 kg/dia. Houve uma tendência de superestimar o GPDj quando abaixo de 0,9 kg/dia e de subestimá-lo quando acima de 1,7 kg/dia, mesmo comportamento observado para a equação de consumo. Já nas validações das estimativas do GPDj feitas com base no CMS observado (isolando o erro da predição do CMS), os resultados foram mais precisos ($R^2 = 53,5\%$; Figura 9) além de um aumento da precisão das estimativas é possível observar que a acurácia das mesmas também pareceu melhorar, o que pode ser observado pelo aumento do valor do coeficiente linear (de 0,6785 para 0,9014) se aproximando mais de 1,0. Validações para estimativas de ganho de peso feitas por Lanna, Boin e Fox (1994) com resultados experimentais de tourinhos Nelore, obtiveram R^2 de 57 e 51% para os modelos do CNCPS e NRC (1984), respectivamente. Tais valores mostram que o presente modelo apresenta precisão similar a dos modelos norte-americanos quando se usa do CMS observado para predição do GPDj.

Figura 8 – Relação entre os GPDj observado e predito para os dados experimentais. A linha cheia corresponde a $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Figura 9 – Relação entre os GPDj observado e predito para os dados experimentais com base no CMS observado. A linha cheia corresponde a $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Apesar da melhora das estimativas de GPDj geradas utilizando-se o CMS observado, verificada através de análises de regressão (Figuras 8 e 9), o comportamento das análises dos

resíduos com relação ao peso médio (Figuras 10 e 11), aparentemente não revela distinção quanto a acurácia das duas maneiras de estimativa.

Figura 10 - Relação entre os valores de resíduos de GPDj predito – observado em relação ao peso vivo médio, para os dados experimentais

Figura 11 - Relação entre os valores de resíduos de GPDj predito (com base no CMS observado) – observado em relação ao peso vivo médio, para os dados experimentais

O modelo apresentou precisão e acurácia similar ou em alguns casos superior à apresentada pelo próprio NRC para bancos de dados norte-americanos. É importante ressaltar que os dados utilizados provêm de ambientes experimentais com total controle da dieta e dos níveis nutricionais previamente estabelecidos, além de pesagem diária das sobras. Ainda, os grupos de animais, dentro de cada tratamento, são da mesma raça e, na maioria dos casos antes de iniciar a fase experimental propriamente dita, os animais são submetidos a um período de adaptação, capaz de eliminar o efeito de ganho compensatório. Neste contexto, quando se tem total controle da alimentação e homogeneidade dos animais dentro de um mesmo lote, o modelo prediz eficientemente o consumo e o ganho de peso e, utilizando-se do consumo observado do lote, obtemos uma predição ainda mais precisa do ganho.

As equações tenderam, tanto no caso do consumo quanto no caso do ganho, a superestimar o que foi experimentalmente observado para estas variáveis quando tanto consumo quanto ganho foram baixos. Entretanto, é comum se observar, em experimentos publicados, consumos e ganhos muito baixos, que não podem ser explicados pela dieta nem pelo tipo de animal. Provavelmente são resultados de desempenho associados a diferentes falhas (presença de parasitas, problemas de manejo, erros na determinação da MS, etc) que não foram detectadas pelos pesquisadores responsáveis. Desta forma é de se esperar uma superestimativa destes valores muito baixos (e.g. Figura 6).

Por outro lado, consumos muito elevados podem ter sido causados por animais que expressavam ganho compensatório mesmo depois do período de adaptação. Estes animais apresentavam elevados consumos observados (mais de 10 kg de MS/dia) e elevados ganhos de peso (acima de 1,75 kg/dia). Consequentemente, o ganho compensatório poderia explicar a falha no modelo que subestimou os desempenhos mais elevados.

É possível especular que um modelo que expresse a média da biologia dos animais e do manejo tenha a tendência de superestimar os maus resultados e subestimar os excelentes desempenhos.

4.2 Resultados das validações comerciais

Validações das predições de CMS e de GPDj foram feitas utilizando dados comerciais de dois confinamentos, um situado no município de Barra do Garças, Estado do Mato Grosso, e o

outro situado no município de Brasilândia, Estado do Mato Grosso do Sul. Os anos avaliados foram de 2002, 2003 e 2004, usando dados de CMS e GPDj médios de cada lote de confinamento.

A análise para os dois confinamentos foi realizada separadamente, a fim de permitir a detecção de eventuais falhas nas mensurações dos dados em cada confinamento. Também foram separados animais de diferentes sexos (inteiro e castrado) e raças (Nelore e mestiço), dentro de cada confinamento, permitindo avaliar a precisão e acurácia do modelo para diferentes sexos e raças. Ao final, optou-se por separar os dados de acordo com o tempo em confinamento, objetivando-se assim validar o modelo para diferentes períodos de confinamento: curto (menos de 70 dias), médio (70 a 100 dias) e longo (mais de 100 dias).

4.2.1 Validação da predição de CMS

De uma maneira geral, o modelo revela-se preciso e acurado para CMS entre 8,5 e 10,0 kg/dia. Porém para CMS menores que 8,0 kg/dia, o modelo mostra tendência de superestimativa, enquanto que para CMS maiores que 10 kg/dia, o modelo tende a subestimar suas predições (Figura 12). A equação de estimativa do CMS apresenta R^2 de 67,1% para dados comerciais, valor este muito semelhante ao encontrado na validação dos dados experimentais (67,9%). Isto demonstra que, assim como em situações experimentais, o modelo é mais preciso em situações nacionais do que o NRC (1996) em situações norte-americanas, que apresenta R^2 de 59,8%.

Figura 12 – Relação entre os CMS observado e predito para os dados comerciais. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

A seguir análises separadas por confinamento, período, raça e sexo procurarão explicar melhor o comportamento do modelo.

Numa primeira análise verificou-se o comportamento do CMS predito em relação ao CMS observado (Figura 13) para mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período curto. Neste caso, a equação de regressão para predições de consumo obteve um elevado R^2 de 85,0%.

As predições foram relativamente mais precisas do que as observadas para os dados experimentais, já que se concentram em duas faixas médias de consumo, ao redor de 5,0 kg/dia e ao redor de 10,0 kg/dia. A faixa com valores de consumo menores (5,0 kg/dia) representa o consumo de animais leves (super-precoces – peso médio inicial abaixo de 200 kg) que permaneceram por pouco tempo em confinamento. Já a faixa com valores maiores (10,0 kg/dia) é de animais mais pesados (peso médio por volta de 450 kg) mantidos em confinamento apenas para atingir o grau de acabamento desejado. Nota-se que para os animais que consumiram acima de 12,0 kg/dia, a tendência do modelo foi subestimar seus consumos. Neste caso, os animais eram muito pesados (peso vivo médio superior a 550 kg) e, provavelmente, tratava-se de animais mais velhos e, expressando maior ganho compensatório consequentemente.

Figura 13 – Relação entre os CMS observado e predito para os dados de mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período menor que 70 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

A análise do consumo predito em relação ao consumo observado de mestiços inteiros do confinamento MS confinados por um período médio (Figura 14), mostrou problemas de acurácia e de precisão. Os valores de CMS preditos concentraram-se na faixa de 8,5 a 9,5 kg/dia, com algumas exceções e a regressão apresentou R^2 de 23,6%.

De maneira geral o modelo subestimou o CMS, principalmente quando o CMS observado esteve acima de 9,0 kg/dia. Isto poderia ser explicado por um provável maior crescimento compensatório dos animais do que o incluído no modelo, que resulta em consumos mais elevados do que os preditos. Como no arquivo disponibilizado não havia informações que permitiriam quantificar a intensidade do ganho compensatório, atribui-se uma “compensação moderada” (ajuste de 10% para o CMS) para todos os animais. No presente caso, alguns lotes podem ter apresentado compensação mais intensa, o que de fato aumentaria o consumo para valores acima do consumo predito. O modelo sugere um aumento de 20% no consumo para animais em “compensação intensa”.

Figura 14 – Relação entre os CMS observado e predito pelo modelo para os dados de mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período de 70 a 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

A relação entre o consumo predito e o consumo observado de mestiços inteiros do confinamento MS confinados por mais de 100 dias (Figura 15), mostrou que o modelo continuou subestimando o CMS quando este esteve acima de 9,5 kg/dia. Mais uma vez, pode-se especular que, os animais com maior consumo apresentaram ganho compensatório intenso e não moderado, como foi atribuído aos animais. Isto parece consistente pois a subestimativa, para os animais que consumiram acima de 9,5 kg MS/dia parece ser de 5 a 10%.

Figura 15 – Relação entre os CMS observado e predito para os dados de mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período maior que 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

O modelo mostrou-se acurado para consumos de 8,5 a 9,5 kg/dia de mestiços castrados do confinamento MT (Figura 16). O R^2 foi de 35,6%, mas pontos influentes tiveram grande efeito sobre a equação que apresentou coeficiente linear muito distinto de 1. Entretanto para consumos acima de 10,5 kg/dia o modelo mostrou-se inacurado subestimando o consumo observado. A análise dos resíduos entre CMS predito e observado em função do tempo de confinamento (Figura 17), mostra que os maiores resíduos são observados quando o tempo de confinamento é curto. Isto é consistente com a sugestão de que o efeito de crescimento compensatório sobre o consumo seja a causa dos erros de estimativa. Os erros encontrados nas previsões para castrados também podem ter outras causas: estresse da castração, diferente padrão de deposição de gordura.

A questão é se devemos alterar a equação de consumo, buscando uma outra melhor, ou procurar descrever melhor o animal e o ambiente nutricional anterior. Os bons resultados obtidos com os dados experimentais sugerem que a última alternativa deve ser avaliada antes de se buscar uma nova equação.

O que podemos concluir neste momento é que as previsões para castrados apresentam erros maiores do que para inteiros e que em confinamentos de curto período esse erro é ainda mais pronunciado.

Figura 16 – Relação entre o CMS observado e predito para todos os dados de mestiços castrados do confinamento MS. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Figura 17 - Relação entre os valores de resíduos de CMS predito – observado em relação ao tempo em confinamento, para os dados de mestiços castrados do confinamento MT

O comportamento do CMS predito em relação ao observado de Nelores inteiros do confinamento MS confinados por um período curto (Figura 18) foi avaliado. O valor do R^2 da

regressão foi menor do que o encontrado para animais mestiços (70,4 vs. 85,0%). No entanto, o valor de 70,4% pode ser considerado muito bom quando comparado aos valores apresentados pelo NRC (1996) e por Almeida (2005): 59,8% e 20,5%, respectivamente. Uma das razões para a obtenção de altos valores para o coeficiente de determinação está na amplitude dos dados. A inclusão de consumo de animais mais jovens aumenta a amplitude e consequentemente aumenta o R^2 .

Figura 18 – Relação entre o CMS observado e predito para Nelores inteiros do confinamento MS, confinados por um período até 70 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

A faixa com valores menores (5,0 kg/dia) é provavelmente de animais mais leves (peso médio abaixo de 200 kg) que permaneceram por pouco tempo em confinamento. Já a faixa com valores maiores (9,5 kg/dia) é de animais mais pesados (peso médio por volta de 450 kg) mantidos em confinamento, apenas para atingir certo grau de acabamento. O comportamento verificado em Nelore foi semelhante ao verificado para os mestiços: duas faixas de concentração para CMS sendo correspondentes a animais de peso vivo médio diferentes. Para os animais que consumiram acima de 10,5 kg/dia, i.e., os mais pesados (peso vivo médio superior a 450 kg) e provavelmente os mais velhos, o modelo apresentou tendência de subestimar o consumo. Talvez por serem animais menos eficientes apresentaram consumo maior do que o predito. Já na análise do consumo predito em relação ao consumo observado de Nelores inteiros do confinamento MS

confinados por um período médio (Figura 19), o modelo apresentou R^2 menor que os obtidos para as predições envolvendo animais confinados até 70 dias.

Figura 19 – Relação entre o CMS observado e predito para Nelores inteiros do confinamento MS, confinados por um período de 70 a 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

O modelo tendeu a superestimar o CMS predito, quando o CMS observado mostrou-se abaixo de 9,0 kg/dia e, a subestimar quando acima de 9,5 kg/dia (Figura 19), sendo que quanto maior for o consumo observado, maior o desvio padrão encontrado. Este comportamento pode ser justificado novamente pela provável ocorrência de ganho compensatório mais intenso do que o previsto. Encontrou-se grande dificuldade para se modelar a compensação, que varia com a duração e intensidade da restrição a que os animais foram submetidos previamente, antes de serem realimentados em confinamento. No arquivo disponibilizado não havia informações que poderiam permitir a quantificação da intensidade do ganho compensatório; nem do ganho de peso prévio, nem tampouco a condição corporal dos animais.

A análise do CMS predito em relação ao observado para Nelores inteiros do confinamento MS, confinados por um período longo revela um R^2 de 74,0% (Figura 20), sendo os consumos concentrados na faixa de 9,0 a 9,5 kg/dia. Este R^2 pode ser comparado favoravelmente com as análises dos mestiços ($R^2 = 41,3\%$).

Figura 20 – Relação entre o CMS observado e predito para Nelores inteiros do confinamento MS, confinados por um período maior que 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

A figura 20 inclui um ponto afastado da área onde os demais se concentram o que aumenta a amplitude.

Para os Nelores inteiros do confinamento MT observou-se grande precisão das estimativas de CMS (Figura 21) com baixos desvios da média. Estes resultados parecem concordar com a sugestão de que os dados do confinamento MT são mais robustos, com melhor sistema de coleta e menor ocorrência de erros. Isto é corroborado pelos dados que demonstram menor frequência de limpeza dos cochos. Esta menor frequência é função de um melhor manejo de cocho. No caso deste banco de dados da figura 21, pode-se dizer que se trata de lotes bastante heterogêneos, compostos de animais confinados por períodos de 11 a 195 dias e com um peso vivo médio entre 271 a 541 kg, portanto a eficiência das predições podem ser consideradas boas, inclusive com coeficiente de determinação ($R^2 = 52,7\%$) semelhante ao obtido para as validações do NRC.

Para os Nelores castrados (Figura 22), houve grande dispersão e desvio padrão das estimativas e o modelo mostrou falta de precisão e acurácia nas estimativas. A tendência de superestimar a predição do consumo dos animais confinados por mais de 100 dias permanece, principalmente quando este esteve acima de 9,0 kg/dia.

Figura 21 – Relação entre os CMS observado e predito para Nelores inteiros do confinamento MT. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Figura 22 – Relação entre o CMS observado e predito para Nelores castrados do confinamento MT, confinados por um período maior que 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Os erros de predição para castrados devem motivar futuras pesquisas, pois ocorreram tanto para os mestiços quanto para os Nelores. Outro ponto que se mostrou relevante em castrados foi que as piores estimativas são para os animais que ficam menos tempo em confinamento (Figura 17), o que sugere que o ganho compensatório não está sendo bem modelado para este grupo de animais. Partindo da premissa que o efeito do ganho compensatório ocorre na primeira metade ou no primeiro terço do confinamento (BOIN; TEDESCHI, 1997, RYAN, 1990), pode-se fazer a inferência que, na fase inicial de confinamento, os animais têm seus consumos incrementados acima do valor de 10% que foi utilizado durante a validação. Talvez a aplicação do valor de 20%, recomendado para uma compensação intensa seja mais pertinente no ajuste para consumo de alguns lotes.

Deve-se ressaltar também que muitas vezes, em confinamentos comerciais, os dados reais não são de fato reais. Ocorre perda de alimento e não se assume valores para essas perdas, principalmente na beira do cocho e durante a limpeza do cocho, material este que não é pesado. Estudos para se estimar as perdas de alimentos dentro de confinamentos se fazem necessários, pois essas perdas levam a sugerir que o modelo subestima o consumo, o que de fato não deve ser verdade. Outro ponto relevante nos confinamentos brasileiros é a grande variabilidade dos animais, tanto em idade (temos animais de 1 a 5 anos), raça, tamanho corporal, como também variabilidade da qualidade do volumoso durante o período de confinamento. Problemas com balanças mal aferidas também devem ser considerados, o que conspira, juntamente com os outros fatores mencionados com a baixa qualidade dos dados, culminando com falsas falhas nas predições do modelo.

4.2.2 Validação da predição de GPDj

No caso das validações dos dados de ganho de peso de confinamentos comerciais, as regressões lineares foram calculadas apenas com o CMS observado (ou seja o total do alimento colocado no cocho sem correção para perdas).

Para o agregado das validações comerciais incluindo os dois confinamentos, os três anos, as diferentes raças e períodos de alimentação (Figura 23), as predições de ganho de peso apresentaram um R^2 de 27,0%, indicando menor precisão do que verificada nas validações experimentais ($R^2 = 48,7\%$). Houve superestimativa dos ganhos para a maioria dos lotes, que

mais adiante serão atribuídas principalmente aos erros na determinação do consumo real, bem como aos erros de predições do desempenho dos animais confinados por períodos mais longos (erros na estimativa do efeito do ganho compensatório).

Figura 23 – Relação entre o GPDj observado e predito para todos os dados comerciais. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Para os mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período curto (Figura 24) o modelo obteve um R^2 de 37,0% e grande amplitude de desvios em relação à média.

Já as estimativas de GPDj para mestiços inteiros do confinamento MS confinados por um período médio ($R^2 = 4,7\%$; Figura 25), revela, assim como para os animais confinados por período curto, elevados desvios dos pontos em relação a média, com superestimativa do ganho. Entretanto, é possível perceber que há baixa amplitude de variação no GPDj observado, o que tende a criar baixos coeficientes de determinação.

Figura 24 – Relação entre o GPDj observado e predito para os dados de mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período menor que 70 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Figura 25 – Relação entre o GPDj observado e predito para os mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período de 70 a 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Para os mestiços inteiros confinados por período longo no confinamento MS (Figura 26; $R^2 = 25,3\%$), verificou-se a tendência de superestimativa do GPDj predito já constatada para a mesma categoria animal confinada por períodos de 70 a 100 dias, apesar do R^2 ser melhor (25,3 vs. 4,7%).

Figura 26 – Relação entre o GPDj observado e predito para os mestiços inteiros do confinamento MS, confinados por um período maior que 100 dias. A linha cheia corresponde a relação ideal ($Y = X$) e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

O comportamento residual das estimativas de ganho de peso para os animais mestiços inteiros (Figura 27) revela que as predições de ganho de peso foram mais precisas dos 50 aos 100 dias de confinamento. Ainda se pode inferir que o modelo apresenta tendência de superestimar o desempenho animal, principalmente daqueles que permanecem mais tempo em confinamento. Deve-se considerar que os animais mantidos por mais tempo em confinamento são geralmente animais que apresentam menor eficiência alimentar, i.e. depositam maior percentual de gordura corporal. Animais mantidos em confinamento por mais tempo, também devem ter sido abatidos após o início das chuvas, quando as perdas de cocho são maiores e, portanto o consumo “observado” foi superestimado.

A superestimativa do GPDj se mostra mais evidente em situações comerciais onde os animais tem menor mérito genético que dos animais utilizados em situações experimentais, provenientes de rebanhos selecionados.

Figura 27 - Relação entre os valores de resíduos de GPDj predito – observado em relação ao tempo em confinamento, para os dados de mestiços inteiros do confinamento MS

Para animais mestiços castrados que permaneceram até 70 dias em confinamento (Figura 28) o modelo apresentou o mais alto coeficiente de determinação (R^2 de 67,5%) das validações de ganho de peso tanto com dados comerciais, quanto em experimentais. Porém, à medida que os animais ficavam por mais tempo em confinamento o modelo perdia a acurácia. As regressões com dados de animais confinados por período médio e longo revelaram valores de R^2 de 43,1% e 8,5%, respectivamente. Esses valores do R^2 levam a concluir que quanto maior foi o tempo em confinamento, maiores são as magnitudes das superestimativas.

A análise dos resíduos de GPDj predito menos observado de mestiços castrados (Figura 29) mostra a tendência de superestimativa do ganho de peso principalmente nos animais que ficaram mais de 100 dias confinados. Provavelmente, esses animais que ficam por mais tempo em confinamento são animais menos eficientes, que ganham menos peso e geralmente consomem mais. E como nas validações de dados comerciais as predições de GPDj foram calculadas com base no CMS observado, esse maior consumo dos animais confinados por longos períodos levam ao modelo predizer ganhos de peso que de fato não ocorrem, ainda mais acrescido ao fato de não terem sido contabilizados as perdas no cocho nesses CMS “observados”.

Figura 28 – Relação entre os GPDj observado e predito para os mestiços castrados do confinamento MT, confinados por um período de até 70 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Figura 29 - Relação entre os valores de resíduos de GPDj predito – observado em relação ao tempo em confinamento, para os dados de mestiços castrados do confinamento MT

Como somente os pesos iniciais e finais foram utilizados para a validação, ou seja, não havendo pesagens intermediárias, assume-se que o ganho de peso dos animais durante o

confinamento teria sido constante, o que é sabidamente incorreto. Já que os pesos vivos diários não foram coletados e o ganho de peso diário do período foi estimado como sendo a média entre o intervalo das duas pesagens (peso vivo inicial e final).

É sabido que existe uma tendência de redução do ganho de peso diário à medida que avança o período de confinamento, provavelmente pelo maior grau de acabamento alcançado pelos animais (ALMEIDA, 2005). Talvez esse erro tendencioso do modelo em superestimar o ganho de peso em animais que permanecem mais tempo em confinamento, esteja ao fato do modelo não se mostrar eficiente na predição da desaceleração do ganho de peso à medida que o animal vai atingindo certo grau de acabamento para o abate.

No caso de animais Nelores inteiros, observou-se a mesma tendência do que ocorreu com os mestiços em geral, a superestimativa do ganho de peso à medida que se aumenta o tempo em confinamento (Tabela 20).

Tabela 20 – Estimativa do R^2 para as regressões lineares entre GPDj predito, com base no CMS observado, e GPDj observado para animais Nelores inteiros dos confinamentos MT e MS nos diferentes períodos de confinamento

Confinamento	Período em confinamento (dias)	R^2
MS	< 70	26,4%
	70 – 100	24,0%
	> 100	12,5%
MT	< 70	15,6%
	70 – 100	71,3%
	> 100	28,4%

Para os animais Nelores castrados observou-se uma tendência de subestimar o ganho de peso para animais confinados por um período curto ($R^2 = 53,6\%$; Figura 30). Tendência inversa àquelas demonstradas para os lotes anteriormente apresentados. Entretanto, para os Nelores castrados confinados por período médio (Figura 31) e longo (Figura 32), o modelo mostra a tendência de superestimar o GPDj ($R^2 = 37,9\%$ e $41,2\%$, respectivamente), seguindo o mesmo padrão apresentado para as demais categorias animais previamente analisadas e também

verificando que, para períodos mais longos de confinamento, a superestimativa torna-se ainda mais acentuada.

Figura 30 – Relação entre os GPDj observado e predito para os Nelores castrados do confinamento MT, confinados por um período de até 70 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Figura 31 – Relação entre o GPDj observado e predito para os Nelores castrados do confinamento MT, confinados por um período de 70 a 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

Figura 32 – Relação entre o GPDj observado e predito para os Nelores castrados do confinamento MT, confinados por um período maior que 100 dias. A linha cheia corresponde a relação $Y = X$ e a linha tracejada corresponde a relação de mínimos quadrados

O comportamento dos resíduos das predições de ganho de peso em relação ao peso médio dos animais (Figura 33) demonstra que os menores resíduos são encontrados com animais de peso médio próximo a 400 kg, porém a tendência de superestimativa é geral, i.e. tanto para animais mais leves como para os mais pesados.

De uma maneira geral, o modelo seguiu a tendência de superestimar o ganho de peso em animais confinados por períodos mais longos. Sendo assim, pode-se especular que, o modelo não estima de forma fiel o desempenho de animais menos eficientes, aqueles que geralmente são mantidos por mais tempo em regime de confinamento, ganhando menos peso e depositando mais gordura na carcaça. O modelo mostrou, ainda, deficiências para as predições de dados comerciais, possivelmente pelos dados de CMS observado não descontarem as perdas e sobras no cocho, não constituindo assim em dados de CMS real. Para uma predição mais precisa e acurada seria necessário informações que poderiam permitir a quantificação das perdas de alimento no cocho como também informações que permitissem avaliar a intensidade do ganho compensatório, do ganho prévio e da condição corporal dos animais. Além disso, seria necessário fazer um diagnóstico do “frame” (tamanho corporal) predominante em cada lote e não como foi feito nesta

validação, onde se atribuiu tamanho corporal 5 para os animais Nelore e 6 para os mestiços em geral.

Figura 33 - Relação entre os valores de resíduos de GPDj predito – observado em relação ao peso vivo médio, para os dados comerciais

4.2.3 Validação da predição de GPDj em duas etapas

Na tentativa de se minimizar os erros causados pela modelagem do ganho compensatório nas predições do ganho de peso de animais confinados por períodos longos, selecionou animais castrados que ficaram de 100 a 110 dias em confinamento e fez uma predição do ganho para duas etapas. A primeira etapa correspondeu aos primeiros 50 dias dos animais em confinamento, período no qual ocorre de fato o ganho compensatório. Para essa primeira fase, atribuiu-se uma “compensação moderada” para todos os animais. A segunda etapa correspondeu ao restante do período, e atribui-se a “ausência de ganho compensatório” para todos os animais. Através da média ponderada chegou ao GPDj predito para o período. Dessa maneira obteve-se uma maior precisão das estimativas de ganho de peso (GPDj observado, predito por etapa única e predito por 2 etapas, de 1,28; 1,37 e 1,29 kg/dia, respectivamente; Tabela 21). Isso evidencia que modelos estáticos são inadequados para simular um período longo, já que biologicamente o animal passa por fases distintas num confinamento de mais de 100 dias, daí a necessidade de se fazer duas simulações separadamente para as fases.

Tabela 21 – Comparação entre as médias de GPD (kg/dia) predito calculado em etapa única e como média de 2 etapas, para animais castrados confinados por 100 a 110 dias

GPD observado	GPD predito, etapa única	GPD predito, médio das 2 etapas
1,28	1,37	1,29

O modelo mostrou-se uma ferramenta útil para estimativa do desempenho de gado de corte em confinamento. Os problemas observados nas predições de ganho de peso devem-se ao fato do modelo ser estático e estar sendo utilizado para diferentes etapas biológicas. Por isso, para grupos de animais que ficaram por longos períodos em confinamento o indicado é que se divida o período em duas etapas, minimizando os erros nas predições de ganho de peso.

4.2.4 Predição de GPDj contabilizando as perdas no cocho

Como já mencionado, é provável que a superestimativa das predições do GPDj em confinamentos comerciais esteja relacionada ao fato do mesmo ser estimado a partir de um consumo “observado” que de fato não corresponde ao consumo real. Isto ocorre, pois não são contabilizadas as perdas de alimento que ocorrem no cocho.

Supondo que essas perdas de alimento no cocho em confinamentos comerciais equivaliam a 5% do total ofertado, verificou-se o comportamento do modelo em prever o GPDj, caso descontássemos essa provável perda dos consumos observados. Para tal, simularam-se os valores médios dos dados comerciais, extraídos da tabela 19.

Os resultados da simulação dos dados médios dos confinamentos comerciais (Tabela 22) mostram que a superestimativa do ganho foi diminuída ao se descontar as perdas de alimentos no cocho do CMS “observado”, acreditando assim que o CMS “observado” tornar-se mais próximo do CMS real.

Tabela 22 – Comparação entre a média do GPDj (kg/dia) observado nos confinamentos comerciais e o GPD predito com base no CMS observado e predito com base no CMS observado descontando perdas de alimento no cocho

GPD observado	GPD predito baseado no CMS observado	GPD predito, descontando perdas no cocho
1,35	1,49	1,37

5 CONCLUSÕES

O modelo proposto mostrou-se uma ferramenta útil para estimativa do desempenho de gado de corte em confinamento, particularmente quando foi checado com dados experimentais. Embora a precisão e acurácia sejam baixas estas foram, em alguns casos, superiores aos do NRC americano.

O modelo apresentou tendência de subestimar o consumo e de superestimar o ganho de peso principalmente dos animais que ficaram por períodos mais longos em confinamento.

Erros nas estimativas de consumo e ganho de peso em confinamentos comerciais parecem estar relacionados à não contabilização das perdas de cocho as quais não foram mensuradas. Além disso, a subestimativa do consumo parece ser função da falta de dados que representem o crescimento compensatório e o tamanho corporal. O uso do modelo em simulações separada das diferentes fases pode aumentar a tanto a sua acurácia quanto a sua precisão.

Referências

- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL –AFRC. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: Commonwealth Agricultural Bureaux Internacional, 1993. 159p.
- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL – ARC. The nutrient requirements of farm livestock. London: Commonwealth Agricultural Bureaux Internacional, 1965.264p.
- ALMEIDA, R.; LANNA, D.P.D. Influence of breed performance and dry matter intake by feedlot bull calves in Brazil. **Journal of Animal Science**, Savoy, v.81, Suppl.1, p. 111, 2003a.
- ALMEIDA, R.; LANNA, D.P.D. Influence of genotype on performance and dry matter intake by feedlot steers in Brazil. In: WORLD CONFERENCE ON ANIMAL PRODUCTION, 9.; REUNIÃO DA ASSOCIAÇÃO LATINOAMERICANA DE PRODUÇÃO ANIMAL, 18., 2003, Porto Alegre. **Proceedings...** Porto Alegre: Associação de Produção Animal, 2003b. p. 84.
- ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. 2005. 181p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- ANDERSEN, B.B. Feeding trials describing net requirements for maintenance as dependent on weight, feeding level, sex and genotype. **Annales de Zootechnie**, Paris, v.29, p.85-92, 1890.
- ANDERSON; J.R.; DILLAN, J.L.; HARDAKER, R. **Agricultural Decision Analysis**. Ames: Iowa Sate University Press, 1977. 344p.
- ARBOITTE, M.Z.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; DA SILVA, J.H.S.; NÖRNBERG, J.L. KUSS, F. Desempenho em confinamento de novilhos 5/8 Nelore - 3/8 Charolês abatidos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 947-958, 2004.
- ATAIDE JUNIOR, J.R.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S. C. Consumo, digestibilidade e desempenho de novilhos alimentados com rações à base de feno de capim-tifton 85, em diferentes idades de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 215-221, 2001.
- BALDWIN, R.L. Animal energetic models. In: BALDWIN, R.L. (Ed.) **Modelling ruminant digestion and metabolism**. London: Chapman e Hall, 1995. 578p
- BARIONI, L.G. **A dynamic simulation model for planning and controlling grazing systems**. 1997. 176p. Thesis (Master of Applied Science in Agricultural Systems and Management) – Massey University, Palmerston North, New Zealand, 1997.

BARIONI, L.G. **Modelagem dinâmica e otimização metaheurística para apoio à tomada de decisões na recria e engorda de bovinos de corte**. 2002. 100p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BARIONI, L.G.; TEDESCHI, L.O.; LANNA, D.P.D. Using a combined linear and non-linear optimization algorithm to maximize net return in feedlots. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, 1999, Hamilton. **Proceedings...** Hamilton: Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 1999. p. 807-812.

BARIONI, L. G.; VELOSO, R. F.; MARTHA JUNIOR, G. B. Modelos matemáticos aplicados a sistemas de produção animal em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, Departamento de Zootecnia, 2002a. p. 235-278.

BARIONI, L. G.; VELOSO, R. F.; MARTHA JUNIOR, G. B. Modelos para estimativa de desempenho de bovinos de corte e ovinos em pastagens. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO ANIMAL: MODELOS PARA A TOMADA DE DECISÕES NA PRODUÇÃO DE BOVINOS E OVINOS, 2002, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM/Embrapa Pecuária Sul, 2002b. p. 5-60.

BERGEN, W.G.; BATES, D.B. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 58, n. 6, p. 1465-1483, 1984.

BLACKIE, M.J.; DENT, J.B. **Information systems for agriculture**. London: Applied Science Publishers, 1979. 176p.

BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. Sistemas intensivos de produção de carne bovina: II. Crescimento e acabamento. In: SIMPÓSIO SOBRE PECUÁRIA DE CORTE, 4., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 205-228.

BOIN, C.; TEDESCHI, L.O.; MANELLA, M.Q. Conceitos atuais de nutrição protéica para bovinos de corte em confinamento. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA DE CORTE, 5., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 299-354.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v. 88, p. 704-716, 1996.

BROCKINGTON, N.R. **Computer modelling in agriculture**. Oxford: Clarendon Press, 1979. 160p.

BYERS, F.M.; ROMPALA, R.E. Level of energy effects on patterns and energetic efficiency of tissue deposition in small or large mature size beef cattle. In: MOUNT, L.E. (Ed.) **Energy metabolism**. London: Butterworths, 1980, p. 141.

BYWATER, A.C. Exploitation of the system approach in technical design of agricultural enterprises. In: JONES, J.G.W.; STREET, P.R. (Ed.). **Systems theory applied to agriculture and food chain**. London: Elsevier Applied Sciences, 1990. 388p.

CARLSON, D.H.; THUROW, T.L.; JONES, C.A. Biophysical simulation models as foundation of decision support systems. In: STUTH, J.W.; LYONS, B.G. (Ed.). **Decision support systems for the management of grazing lands: emerging issues**. Paris: Unesco, 1993, p. 37-68.

CARSTENS, G.E. Compensatory growth in beef cattle. In: SYMPOSIUM: INTAKE BY FEEDLOT CATTLE. 1995, Oklahoma. **Proceedings...** Oklahoma: Agricultural Experimental Station, 1995. p. 70-84.

CHECKLAND, P. **Systems thinking, systems practice**. Chinchester: John Wiley, 1989. 330p.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION (CSIRO) Feeding Standards for Australian Livestock Ruminanxts. Melbourne, 1990. 266p.

COSTA, M.A.L.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. Desempenho, digestibilidade e características de carcaça de novilhos zebuínos alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 268-279, 2005.

CRUZ, G.M.; ESTEVES, S.N.; TULLIO, R.R. Peso de abate de machos não-castrados para produção do bovino jovem. 1. Desempenho em confinamento e custos de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 635-645, 2004.

CRUCHAGA, R.C.; GONZÁLEZ, C.A. Uso de la Bioenergética en Producción de Bovinos. In: RUIZ, M.E. **Simulacion de sistemas pecuários**. IICA: San José, Costa Rica, 1992 cap.1, p. 7-100.

DENT, J.B.; ANDERSON, J.R. **System analysis in agricultural management**. Sidney: John Wiley, 1971. 394p.

DENT, J.B.; BLACKIE, M.J. **Systems simulation in agriculture**. London: Applied Science Publishers, 1979. 180p.

D'OLIVEIRA, P.S.; PRADO, I.N.; SANTOS, G.T. Efeito da substituição do farelo de soja pelo farelo de canola sobre o desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 568-574, 1997.

EUCLIDES FILHO, K.; FIGUEIREDO, G.R.; EUCLIDES, V.P.B.; SILVA, L.O.C.; ROCCO, V.; BARBOSA, R.A.; JUNQUEIRRA, C.E. Desempenho de diferentes grupos genéticos de bovinos de corte em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1114-1122, 2003.

- FATURI, C.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L. et al. Grão de aveia preta em substituição ao grão de sorgo para alimentação de novilhos na fase de terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 437-448, 2003.
- FERNANDES, H.J.; PAULINO, M.F.; MARTINS, R.G.R. Ganho de peso, conversão alimentar, ingestão diária de nutrientes e digestibilidade de garrotes não-castrados de três grupos genéticos em recria e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, supl. 3, p. 2403-2411, 2004.
- FERREIRA, M. F.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C.; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D.; CECON, P. R.; MUNIZ, E. B. Consumo, Conversão Alimentar, Ganho de Peso e Características da Carcaça de Bovinos F1 Simental X Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 343-351, 1998.
- FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 61, n. 3, p. 725-741, 1985.
- FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: I. Angus, Belgian Blue, Hereford, and Piemontese Sires. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 76, p. 637-646, 1998.
- FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Cow type and nutritional environment: nutritional aspects. In: SYMPOSIUM: INTAKE BY FEEDLOT CATTLE, 1995, Oklahoma. **Proceedings...Oklahoma: Agricultural Experiment Station**, 1995. p. 23-30.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>> . Acesso em: 3 dez. 2006.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. Adjusting nutrient requirements of beef cattles for animal and environmental variations. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 66, p. 1475 – 1495, 1988.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; RUSSEL, J.B.; VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 70, p. 3578-3596, 1992.
- FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P.; TEDESCHI, L.O.; VAN AMBURGH, M.E.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R.; RUSSELL, J.B. **CNCPS v. 5.0**: the net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion, model documentation. Ithaca: Cornell University, Animal Science Dept., 2003. (Mimeo, 213).
- FRISH, J.E.; VERCOE, J.E. Food intake, eating rate, weight gains, metabolic rate and efficiency of feed utilization in *Bos taurus* and *Bos indicus* crossbred cattle. **Animal Production**, Edinburgh, v. 25, p. 343-358, 1977.
- GILLARD, P.; MONYPENNY, R. A decision support approach for the beef cattle industry of tropical Australia. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 26, p. 179-190, 1988.

GALYEAN, M.L.; HUBBERT, M.E. Rationale for use and selection of ionophores in ruminant production. In: SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 1989, Phoenix. Proceedings...Phoenix: Department of Animal Science, 1989. p. 64-81.

GARRET, W.N. Energetic efficiency of beef and dairy steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 32, p. 451-456, 1971.

GARRET, W.N. Energy utilization of growing cattle as determined in 72 comparative slaughter experiments. In: SYMPOSIUM OF ENERGY METABOLISM, 8., 1980, Cambridge. **Proceedings...** London: Butterworths, 1980a. n.28, p. 3-7.

GARRET, W.N. Factors influencing energetic efficiency of beef production. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 51, p.1435, 1980b.

GOULART, R.S.; ALMEIDA, R.; POTT, E.B. Desempenho de bovinos Nelore e cruzados “Bos taurus” x Nelore recriados em pastagem e terminados em confinamento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. WCAP, 2006. 1 CD – ROM.

GRAY, D.I.; PARKER, W.J. **The planning, implementation and control of pastoral based system**. Palmerston North: Agricultural and Horticultural Systems Management Department, Massey University, 1994. 112p.

HARRISON, S.R. Regression of a model on real-system output: an invalid test of a model validity. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 183-190, 1990.

HENRIQUE, W.; LEME, P.R.; LANNA, D.P.D. Substituição de amido por pectina em dietas com diferentes níveis de concentrado. 1. Desempenho animal e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1206-1211, 1998.

HENRIQUE, W.; SAMPAIO, A.A.M.; LEME, P.R. Desempenho e características da carcaça de tourinhos Santa Gertrudes confinados, recebendo dietas com alto concentrado e níveis crescentes de polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 463-470, 2004.

INSTITUTE NATIONAL DE LA RECHERHCE AGRONOMIQUE **Ruminant nutrition**. Paris: John Libbey Eurotext, 1989. 389p.

JENKINS, T.G.; FERREL, C.L. Characterization of postweaning traits on Simmental and Hereford bulls and heifers. **Animal Production**, Edinburgh, v. 43, p. 245-254, 1984.

KARUE, C.N.; EVANS, J.L.; TILLMAN, A.D. Metabolism of nitrogen in Boran and Hereford-Boran crossbred steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 35, p. 1025-1030, 1972.

KAY, R. D. **Farm management: planning control and implementation**. New York: McGraw-Hill, 1986. 512p.

KREHBIEL, C.R.; HREIKEMEIER, K.K.; FERRELL, C.L. Influence of *Bos indicus* crossbreeding and cattle age on apparent utilization of a high-grain diet. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 78, p. 1641-1647, 2000.

JORGE, A.M.; FONTES, C.A.A.; FREITAS, J.A. Ganho de peso e de carcaça, consumo e conversão alimentar de bovinos e bubalinos, abatidos em dois estágios de maturidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 806-812, 1997.

LANA, R. P.; FOX, D.G. Interações entre monensina sódica, óleo de soja e fontes de nitrogênio no desempenho de novilhos Aberdeen Angus em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 247-253, 2001.

LANNA, D. P. D.; BOIN, C.; FOX, D. G. Validação do CNCPS e do NRC (1984) Para Estimativa dos Requerimentos Nutricionais e Desempenho de Zebuinos Em Crescimento. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 21; 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 1994. p. 480.

LANNA, D.P.D.; BARIONI, L.G.; BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. **RLM 2.0 – ração de lucro máximo**: versão 2.0. Manual do usuário. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Zootecnia, 1999. 26p.

LANNA, D.P.D.; ALMEIDA, R.; NEPOMUCENO, N.H.B.; BARIONI, L.G.; CAIXETA FILHO, J.V.; HOFFMANN, B.M.; CALEGARE, L.; MEDEIROS, S.R. **RLM 3.0 - ração de lucro máximo**: versão 3.0. Manual do usuário. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Zootecnia, 2005. 34p.

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. **Growth of farm animals**. New York: CAB International, 1997. 330p.

LEDGER, H.P.; ROGERSON, A.; FREEMAN, G.H. Further studies on voluntary food intake of *Bos indicus* and *Bos taurus* crossbred cattle. **Animal Production**, Edinburgh, v. 12, p. 425-431, 1970.

LEME, P.R.; SILVA, S.L.; PEREIRA, A.S.C. Utilização do bagaço de cana-de-açúcar em dietas com elevada proporção de concentrados para novilhos Nelore em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 6, supl. 1, p. 1786-1791, 2003.

LEVIS, A.H.; LEVIS, I.S. Toward a conceptual framework for policy analysis modelling. In: LEVIS, A.H.; QUANCE, L. (Ed.). **Systems theory applications to agricultural modelling – a proceedings**. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1978. p. 9-14.

LIMA, M.L.P.; ZANETTI, M.A. Utilização do bagaço hidrolisado como alimento volumoso para bovinos confinados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 540-552, 1996.

LOFGREEN, G.P.; GARRET, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 27, p. 793-806, 1968.

MacCARL, B.A. Model validation: an overview with some emphasis on risk models. **Review of Marketing and Agricultural Economics**, New York, v. 52, n. 3, p. 153-173, 1984.

MAYER, D.G.; STUART, M.A.; SWAIN, A.J. Regression of real-world data on model output: an appropriate overall test of validity. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 93-104, 1993.

MERTENS, D.R. Effect of physical characteristics, forage particle size and density on forage utilization. In: ANIMAL FEED INDUSTRY NUTRITION SYMPOSE, 1986, St. Louis. **Proceedings...** St. Louis: Animal Feed Industry Association, 1986. p.91.

MULLER, R.D. **Rumensin and tylan feedlot technical manual**. Indianapolis: Elanco Animal Health, 1995. 50p.

MURTHY, D.N. P.; PAGE, N.W.; RODIN, E.Y. **Mathematical modelling: a tool for problem solving in engineering, physical, biological and social sciences**. Oxford: Pergamon Press, 1990. 339p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 5th ed. Washington: National Academy Press, 1976. 56p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6th ed. Washington: National Academy Press, 1984. 90p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Predicting feed intake of food producing animals**. Washington: National Academy Press, 1987. 96p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 1996. 234p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington: National Academy Press, 2000. 242p.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C. et al. Avaliação da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) por meio do desempenho de novilhos de corte confinados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 2099-2109, 2001.

NUTHALL, P.L. **Actual and potential computer use by a group of primary producers**. Canterbury, New Zealand: Agribusiness and Economics Research Unit: Lincoln University, 1992. 42p. (Research Report, 214).

OLTJEN, J.W.; PLEASANTS, A.B.; SOBOLEVA, T.K.; ODDY, V.H. Second generation dynamic cattle growth and composition models. In: MCNAMARA, J.P.; FRANCE, J.; BEEVER, D.E. (Ed). **Modelling nutrient utilization in farm animals**. New York: CAB Publishing, 2000. p. 197-210.

PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v. 88, p. 690-694, 1996.

PATLE, B.R.; MUDGAL, V.D. Maintenance requirements for energy in crossbred cattle. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 33, p. 127-139, 1975.

PAULINO, P.V.R.; COSTA, M.A.L; VALADARES FILHO, S.C. Exigências nutricionais de zebuínos: proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 759-769, 2004.

PRADO, I.N.; MARTINS, A.S. Efeito da substituição do farelo de algodão pelo farelo de canola no desempenho de novilhas Nelore confinadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1390-1396, 1999.

PRADO, I.N.; MARTINS, A.S.; ALCADE, C.R. Desempenho de novilhas alimentadas com rações contendo milho ou casca de mandioca como fonte energética e farelo de algodão ou levedura como fonte protéica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 278-287, 2000.

PRATT, M. J. **What are decision support systems?** Palmerston North: Department of Accounting and Finance, Massey University, 1986. (Discussion Paper Series, 51).

RAYBURN, E.B.; FOX, D.G. Predicting growth and performance of Holstein steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 68, p. 788-798, 1990.

RESENDE, F.D.; QUEIROZ, A.C.; OLIVEIRA, J. V. Bovinos mestiços alimentados com diferentes proporções de volumoso:concentrado. 1. Digestibilidade aparente dos nutrientes, ganho de peso e conversão alimentar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 261-269, 2001.

RESENDE FILHO, M.A. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao processo de tomada de decisão em confinamento de bovinos de corte**. 1997.116p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

RESTLE, J.; FATURI, C.; ALVES FILHO, D.C. et al. Substituição do grão de sorgo por casca de soja na dieta de novilhos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1009-1015, 2004.

ROTHERBERG, J. The nature of modelling. In: WIDMAN, L.E.; LOPARO, K.A.; NIELSEN, N.R. (Ed.) **Artificial intelligent, simulation and modelling**. New York: John Wile, 1989. p.75-92.

RYAN, W.J. Compensatory growth in cattle and sheep. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Wallingford, v. 60, p. 653-664, 1990.

SAINZ, R.D.; DE LA TORRE, F.; OLTJEN, J.W. Compensatory growth and carcass quality in growth-restricted and refed beef steers. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 73, p. 2971-2979, 1995.

SAINZ, R.D.; WOLFF, J.E. Development of a dynamic, mechanistic model of lamb metabolism and growth. **Animal Production**, Edinburgh, v. 51, p. 535-549, 1990.

SCHNEIDER, B.H.; FLATT, W.P. **The evaluation of feeds through digestibility experiments**. Athens: University of Georgia Press, 1975. 423p.

SEIXAS, J.R.C.; EZEQUIEL, J.M.B.; ARAÚJO, W.D.; RESENDE, F.D.; MARTINS JÚNIOR, A.; KRONKA, S.N.; SILVA, L.D.F.; DOURADO, J.B.; SOARES, W.V.B. Desempenho de bovinos confinados alimentados com dietas à base de farelo de algodão, uréia ou amiréia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, p. 432-438, 1999.

SILVA, F.F.; VALADARES FILHO, S.C.; ÍTALO, L.C.V. et al. Exigências líquidas e dietéticas de energia, proteína e macroelementos minerais de bovinos de corte no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 776-792, 2002.

SINCLAIR, T.R.; SELIGMAN, N.G. Crop modelling: from infancy to maturity. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v. 88, p. 698-704, 1996.

SHANNON, R.E. **Systems simulation: The art and science**. London: Prentice Hall, 1975. 387p.

SOBOLEVA, T.K.; ODDY, V.H.; PLEASANTS, A.B.; OLTJEN, J.W.; BALL, A.J.; MCCALL, D.G. A dynamical model of body composition in sheep. **Proceeding of the New Zealand Society of Animal Production**, Palmerston North, v. 59, p. 275-278, 1999.

STRASIA, C.A.; GILL, D.R. Formulating feedlot diets. **Great plains beef cattle handbook**. Oklahoma: Fact Sheet, 1990, 1600p.

STUTH, J.W.; SCIFRES, C.J.; HAMILTON, W.T.; CONNER, J.R. Management systems analysis as guidance for effective interdisciplinary grazingland research. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 36, p. 43-63, 1991.

TEDESCHI, L.O. **Development and evaluation of models for the Cornell Net Carbohydrate and Protein System**. 2001. 414p. Thesis (Ph.D. Dissertation) – Cornell University. Ithaca, 2001.

TEDESCHI, L.O.; BOIN, C.; FOX, D.G. Energy requirements for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 80, n. 6, p. 1671-1682, 2002.

THORNLEY, J.H.M. **Grasland dynamics: an ecosystems simulation model**. Wallingford: CAB International, 1996. 256p.

THORNLEY, J.H.M.; JOHNSON, I.R. **Plant and crop modeling:** A mathematical approach to plant and crop physiology. Oxford: Clarendon Press. 1990. 491p.

THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. Role of modelling on animal production research and extension work. In: INTERNATIONAL WORKSHOP OF MODELLING RUMINANT DIGESTION AND METABOLISM, 2., 1984, Davis. **Proceedings...** Davis: University of California, 1984. p. 4-9.

THORNTON, P.K.; HANSEN, J.W. A note on regressing real-world data on model output. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 50, n. 4, p. 411-414, 1996.

TURBAN, E. **Decision support systems:** managerial perspectives. New York: Macmillan Publishing, 1988. 116p.

TURBAN, E. **Decision support and expert system:** management support systems. New York: MacMillan, 1993. 833p.

TURBAN, E. **Decision support and expert systems.** New Jersey: Prentice Hall, 1995. 889p.

VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R.; SAINZ, R.D. Desafios metodológicos para determinação das exigências nutricionais de bovinos de corte no Brasil. In: REUNIÃO ANNUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais....**Goiânia: SBZ, 2005. p. 261-287.

VAN SOEST, P.J. Intake. In: _____. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2nd ed. Ithaca: Comstock Publishing Associates, 1994. p. 337-353.

WILKERSON, V.A.; KLOPFENSTEIN, T.J.; BRITTON, R.A. Metabolizable protein and amino acid requirements of growing beef cattle. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 71, p. 2777-2784, 1993.