

METABOLISMO NOS RUMINANTES. UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DA MODELAGEM APLICADA*

Introdução

Os ruminantes constituem uma das maiores fontes de proteína animal consumida pela população mundial, através do leite e da carne. O crescimento da população mundial obrigou a produção animal a gerar animais de alta eficiência capazes de responder por altíssimas taxas de síntese de leite ou de carne dentro de um entorno de otimização da produção e de máximo lucro. Para atingir esse objetivo de produção, as mudanças genéticas foram rápidas e excludentes para algumas características fisiológicas e nem sempre foram feitas levando em consideração o meio ambiente.

Os animais produto das manipulações genéticas conseguem altos níveis de produção, porém sofrendo desequilíbrios na homeostasia, que são causa predisponente para a apresentação das denominadas *doenças metabólicas* ou *doenças da produção*. De forma geral, o período entre o final da gestação e o pico da lactação é relacionado com grandes alterações endócrinas e metabólicas nas vacas especializadas na produção do leite, situação que se reflete em um maior risco para a manifestação clínica dos desequilíbrios comumente associados a enfermidades metabólicas. Por outro lado, os ruminantes são implicados de causar graves problemas ambientais, em especial por sua questionada alta taxa de liberação de metano, fósforo e compostos nitrogenados. Ainda que esta visão só provenha dos países desenvolvidos, nos próximos anos, a pesquisa em buiatria obrigatoriamente deverá incluir estes temas.

Devido à variabilidade e intrincada complexidade dos sistemas biológicos sob pressão de produção, os estudos clássicos de saúde e produção animal perderam abrangência, pelo qual é necessário contar com ferramentas modernas que cubram a diversidade das situações reais, que apresentem uma visão integradora da realidade onde todos os elementos e cenários da produção animal possam ser avaliados, estudados e recriados com uma ampla gama de possibilidades não só para conhecer e descrever os efeitos observados, mas também para interagir, diagnosticar e modificar situações nocivas em forma oportuna.

O objetivo da presente revisão foi apresentar a alternativa que a análise moderna da modelagem aplicada propõe para alguns aspectos da produção em ruminantes.

* Seminário apresentado pelo aluno ROMULO CAMPOS na disciplina TRANSTORNOS METABOLICOS DOS ANIMAIS DOMESTICOS, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no segundo semestre de 2004. Professor responsável pela disciplina: Félix H. D. González.

A modelagem como ferramenta de análise

Segundo Lovatto & Sauvart (2002), o desenvolvimento de sistemas de modelos pressupõe sistematização do conhecimento e atenção a critérios específicos. O uso de modelos nos sistemas agrícolas permite a integração dos aspectos social, econômico, vegetal e animal. A modelagem aplicada à agricultura pode ser utilizada como uma ferramenta para melhor compreender e otimizar a performance e/ou a veracidade dos sistemas. A simulação pode também ser usada para verificar as áreas onde o conhecimento é escasso ou mesmo inexistente.

Cada pessoa usa implicitamente modelos dentro de uma exploração permanente e às vezes automática do meio ambiente. Cada um de nós tem uma necessidade de lógica e de métodos dentro de suas relações com o mundo. A modelagem é, portanto, muito mais presente e real do que imaginamos no cotidiano. No obstante, a modelagem com objetivos acadêmicos e de pesquisa nas ciências agrárias é relativamente recente. Na verdade, foram os estudos de Fischer na década de 1930 quem indicou a possibilidade de integrar num mesmo modelo analítico diferentes fatores de variação. A seqüência disso foi a integração da análise de variância na rotina experimental. Esta técnica matemática ajudou a esclarecer e a compreender as fontes de variação e conseguiu um grande avanço na qualidade da pesquisa agrícola. No entanto, foram os modernos computadores e o desenvolvimento da informática que permitiu a multidisciplinariedade na concepção e uso dos modelos.

A compressão das relações entre os componentes bióticos, abióticos, econômicos e sociais requer um balanço entre o conhecimento desta complexidade e sua integração através dos distintos níveis hierárquicos de organização do sistema. O desenvolvimento de modelos de simulação e sua implementação em programas para computador tem sido a maneira mais adequada de obter uma ferramenta útil para o estudo das relações entre os fatores associados a um campo específico do sistema em estudo (Cangiano et al., 2002).

O conceito de “sistema” carrega consigo problemáticas que tem como premissa cinco grandes áreas de estudo: A primeira, as relações com o meio ambiente. A segunda, a organização interna com suas hierarquias funcionais e estruturais e suas características constitutivas ou somáticas. A terceira, é a noção de conservação que implica o estado do sistema e sua homeostasia. A quarta, é a necessidade de variação que, por sua vez, é função da finalidade. A quinta área se relaciona com a evolução do sistema no tempo.

O desenvolvimento de um modelo segue etapas sucessivas e lógicas e incluem:

- Formulação clara de objetivos que vão descrever os limites dentro dos quais se desenvolverá o trabalho. As qualidades do modelo e da simulação estão fortemente relacionadas à simplicidade dos objetivos.

- Escolha do sistema que leva implícita a hierarquização das informações e a relação do conhecimento com seu nível de agregação ou de explicação.
- Formulação de hipóteses quantitativas, passo que permite a interação no tempo e no espaço com o modelador. Geralmente nesta fase se elabora o chamado *Diagrama de Forrester*, o qual é uma representação da anatomia do modelo, onde as relações e hierarquias entre os componentes ficam representadas graficamente. O desenvolvimento das hipóteses quantitativas precisa da ajuda das equações diferenciais, isto é de uma construção matemática dos processos.
- Formulação de hipóteses qualitativas, que representam a maneira como são definidas as relações matemáticas dentro do modelo. Geralmente os modelos biológicos são feitos a partir do conceito de compartimento e a regra básica neles é que a variação da massa de uma variável de estado durante um determinado tempo seja a diferença entre o fluxo de entrada e o fluxo de saída.
- Determinação dos parâmetros (fase de parametrização). Um parâmetro pode ser definido dentro da modelagem como um elemento numérico que multiplicado pela variável do estado produz um fluxo de troca. Os parâmetros são obtidos a partir de três métodos fundamentais: experimentação, pesquisa de opinião ou análise bibliográfica, esta última de especial importância pela revisão e conhecimento do estado da arte na área de estudo.
- A fase final corresponde à avaliação do modelo, que poderá ser interna ou externa. A avaliação interna testa a coerência do modelo, isto é se os princípios levados em conta na escolha das hipóteses qualitativas e quantitativas se expressa na forma esperada no momento da simulação. A avaliação externa tenta estabelecer se o modelo se reproduz de forma coerente em situações diferentes.

Tipos de modelos

Segundo Fialho (1999), os modelos podem ser classificados em três grupos: físicos, conceituais (teóricos) e matemáticos. Os modelos físicos são uma representação em menor escala da realidade, como nas maquetas de edifícios ou de usinas. Os modelos teóricos ou conceituais descrevem o sistema ou seu comportamento através de teorias ou gráficos. Os modelos matemáticos descrevem o sistema mediante equações matemáticas para o qual são necessários dados de entrada e saída do modelo. Os modelos matemáticos por sua vez podem ser classificados como modelos “lineares” ou “não lineares” de acordo ao tipo de equações que eles constituem. Também podem ser classificados em “empíricos” ou em “mecanicistas” segundo o grau de explicação dos fenômenos que eles descrevem ou estimam. Igualmente os modelos matemáticos podem ser classificados como

“estáticos” ou “dinâmicos” de acordo com seu comportamento em relação ao tempo. Finalmente os modelos matemáticos podem ser “estocásticos” ou “determinísticos” de acordo com o tratamento probabilístico das suas variáveis e parâmetros (Sainz & Baldwin, 2002).

Os modelos lineares têm natureza normativa e são utilizados em situações que permitem a linearização do problema. Para que um sistema possa ser considerado linear, deve respeitar algumas considerações, algumas delas básicas a todos os procedimentos do delineamento experimental (Danfaer, 1991). Entre estas condições estão: simplicidade, alto grau de precisão, ausência de erro sistêmico, amplo intervalo de validade das conclusões e cálculo do grau de incerteza. Outras condições, pelo contrário, são inerentes à própria técnica de análise matemática da regressão linear, entre as quais, considerar que o objetivo do problema deve ser único e visa otimizar (maximizar ou minimizar) a sua solução. A função objetivo deve ser especificada e conter todas as alternativas disponíveis, chamadas *variáveis de decisão*; que devem estar sujeitas a restrições e limites, possuir expoente 1 e contribuição proporcional e aditiva na função objetivo. Os sistemas lineares permitem a simplificação da estrutura matemática, reduzindo a necessidade de recursos computacionais de alto porte (software e hardware) para a sua resolução. Infelizmente, vários componentes e fenômenos que ocorrem no interior dos sistemas agropecuários, ainda não tem comportamento linear. Nas funções ou sistemas não lineares pelo menos uma das variáveis apresenta expoente diferente de 1, o que não permite a linearidade e/ou aditividade das contribuições na função objetivo (Ragsdale, 1997).

Os modelos dinâmicos têm dentro de suas bases conceituais a variação de um fator em função do tempo, quase sempre registrado como $\Delta x \Delta t^{-1}$ onde, Δx = variação da atividade o fator em estudo e Δt = tempo no qual o fator acontece. Na prática matemática, isto é conhecido e estudado dentro das equações diferenciais (na situação apresentada é de primeiro caso). A definição mais simples de equação diferencial, é uma equação que contém derivadas e são de grande utilidade nos estudos de fluidos, dissipação de calor, mudança de peso, aumento ou diminuição de populações, entre outras. As equações diferenciais podem ser simples ou com uma única variável, e equações parciais, nas quais entram mais de duas variáveis independentes. As soluções das equações diferenciais não são únicas, levando a ter como solução um conjunto de soluções conhecido como *sistema de equações*. Atualmente, existem pacotes computacionais que através de algoritmos especiais (Euler, Runge-Kutta) fazem a solução destas equações quase sempre mediante o uso das integrais matemáticas.

Os modelos que incluem dentro de seu objetivo de estudo variáveis aleatórias são definidos como *modelos estocásticos*. Até faz pouco tempo estes modelos foram estudados a partir dos tradicionais ajustes alcançados mediante a teoria dos mínimos quadrados (mais conhecida como método freqüentista). Esses métodos não conseguiram um alto grau de aproximação para o

controle das incertezas, colocando-os como pouco capazes de prever com segurança. Nos últimos anos, apareceu um novo enfoque sobre a abordagem probabilística, surgida a partir da possibilidade computacional para a aplicação do teorema de Bayes. Os atuais modelos que usam o método bayesiano têm tido grande sucesso devido a que todos os parâmetros podem ser usados dentro do modelo como variáveis aleatórias, o qual requer um menor número de dados pois os conceitos probabilísticos envolvidos diminuem a dependência do ajuste do modelo em relação ao número de dados utilizados. O método bayesiano de probabilidade permite a obtenção imediata de intervalos de credibilidade, levando em conta a incerteza existente nos parâmetros simultaneamente, sendo por tanto, a estimação por intervalo geralmente mais precisa em relação àquela apresentada no método frequentista de ajuste. O método bayesiano é útil em estudos epidemiológicos, no estudo de curvas de lactação, de estudos dose-resposta já que possui informações *a priori* a respeito dos parâmetros de uma função de verossimilhança dos dados, e do cálculo de distribuição de probabilidade *a posteriori*. Normalmente são usadas ferramentas como simulação de Monte Carlo ou algoritmos iterativos “Gibbs Sampler” através dos quais melhora a informação externa ao estudo para com ela e os próprios parâmetros do modelo observado estimar uma distribuição de probabilidade do fenômeno pesquisado (Silva et al., 2005).

Metabolismo e modelagem

Os organismos animais são sistemas biológicos cuja característica é a alta complexidade e o alto grau de controle interno. São conhecidos como *sistemas operativos* os quais são constituídos por compartimentos hierárquicos e vias conexas que agem sobre vias de transporte ou processos metabólicos. Também existem os *sistemas reguladores* principalmente compostos pelo sistema endócrino. O avanço no estudo dos sistemas tem sido muito maior sobre os sistemas operativos que sobre os sistemas reguladores, embora seja necessário mais trabalho de pesquisa nesta área, principalmente porque o metabolismo dos animais superiores tem processos aditivos e independentes entre eles, que garantem a sobrevivência (homeostasia) ou para a perpetuação da espécie (homeorhesia) (Sauvant, 1994). No estado atual do conhecimento só é possível o uso de modelos matemáticos empíricos, muitos deles obtidos mediante regressão linear. A complexidade das reações enzimáticas, o alto grau de controle necessário, a cinética enzimática e as interações entre órgãos e tecidos fazem impossível o uso de modelos não lineares. Os modelos empíricos também chamados de “caixa preta” porque não fazem interações entre sistemas e seu grau de agregação é mínimo, procuram estimar a resposta (saída) em função dos dados de entrada, sem explicar como se dá o funcionamento (Lovatto & Sauvant, 2001). Nesses modelos, os parâmetros

das equações são determinados através de análise de regressão linear quando possível e não linear quando necessário, como nas curvas de produção (Medeiros, 2003).

Sem dúvida, seria muito melhor modelar os sistemas biológicos desde a óptica dos modelos mecanicistas já que eles integram relações de causa-efeito e mais de um nível de organização. Desse modo, permitem estimar e explicar as mudanças ocorridas no sistema em resposta a alterações nas variáveis das equações e às relações de troca entre os componentes do modelo (Woodward, 1997). Também, seria melhor usar modelos dinâmicos devido a que é possível simular com maior segurança os câmbios no sistema decorrentes da variável tempo, toda vez que os seres vivos mudam seu comportamento no tempo, podendo usar modelos dinâmicos para analisar, por exemplo, o efeito da lactação no comportamento de alguma variável de interesse. Em sistemas de produção do leite, uma primeira aproximação ao uso deste tipo de modelo foi o trabalho de Assis (1999).

Selecionar um modelo útil nos sistemas biológicos não é uma tarefa simples. Muitas vezes seria desejável o uso de um determinado modelo pelas vantagens teóricas que oferece, mas nem sempre isto pode ser feito por causa de tipo de informações (dados) com que se conta no momento de fazer o modelo. O uso atual dos modelos na pesquisa agropecuária não é generalizado, mas no futuro com certeza será, levadas em conta as freqüentes restrições no uso de animais de experimentação invasiva, as polêmicas críticas dos ambientalistas, o alto custo das pesquisas e a marcada redução nas fontes de financiamento. A seguir serão apresentados alguns benefícios do uso dos modelos.

Principais usos de modelos em animais

Desde a metade do século XIX foram conhecidos os estudos de Gompertz sobre o crescimento, que foram a base conceitual dos estudos que levaram à formulação das equações exponencial, logística e de Richards, todas baseadas no peso como avaliador da taxa de crescimento. A maioria de equações que representam a dinâmica fisiológica de crescimento dos organismos superiores tem um formato sigmóide com um ponto de máximo crescimento e um ponto de inflexão que pode variar em relação às taxas de aceleração positiva ou negativa que se apresentem. O ponto de inflexão geralmente corresponde a 30% do peso maduro. Aos conceitos iniciais sobre crescimento, foram agregando-se inúmeras condições que descreviam melhor este processo, surgindo assim o conceito de proteína e maturidade que deu origem à aplicação dentro dos modelos dos estados nutricionais. Os modelos de crescimento têm premissas similares em todas as espécies, mas os parâmetros são individuais já que cada espécie tem um potencial específico de assimilação de proteína, assim, por exemplo um modelo de crescimento para aves, requiere de parâmetros diferentes para broilers ou para perus.

A incorporação de variáveis nutricionais para a análise de crescimento levaram a estudos sobre requerimentos, efetividade de resposta, cálculos de quantidades de alimento ótimas, que mudaram completamente a nutrição moderna, onde o objetivo principal é maximizar o uso dos nutrientes (energia, proteína). Desta forma foram gerados modelos para nutrição nos quais cada dia se incorporam maior número de parâmetros e fazem destes modelos verdadeiros sistemas de integração biológica e econômica, devido a que muitos dos pacotes, além de otimizar o valor biológico de uma ração, trabalham para minimizar custos pelas pressões de competitividade. Exemplos especiais de modelos para sistemas de nutrição são o CNPCS (Cornell Net Carbohydrate Protein System) que otimiza o uso de energia metabolizável em relação a diferentes condições fisiológicas e do ecossistema de produção, os sistemas do NRC (National Research Council) para gado de leite ou corte ou o sistema ARC (Animal Research Center) de nutrição. Estes programas geralmente são baseados em cálculos de nutrientes digestíveis totais, mas ajustam fatores como densidade energética do alimento, raça, sexo, atividade física, temperatura, estado nutricional prévio, etc. Estes sistemas, através de sofisticadas equações empíricas, geram modelos e fatoriais que implicam em grande número de parâmetros de entrada e produzem saídas de alto valor teórico e de manejo. Mediante o uso de modelos deste tipo, foi padronizado o peso metabólico dos animais como sendo com expoente 0,75 do peso do animal, fator de máxima importância nos estudos farmacológicos, de nutrição e de bioenergética.

O avanço atual da nutrição de ruminantes é devido em grande parte aos estudos feitos sobre modelos biodinâmicos do ambiente ruminal. O conhecimento de taxas de fermentação, taxas de passagem, liberação de amônia, metano, dióxido de carbono e gases voláteis foi produto da pesquisa feita com modelos matemáticos de simulação. Muitos desses conceitos foram usados na geração de técnicas hoje de uso rotineiro tais como FDN, FDA, digestão in vitro, entre outras (Benchaar et al., 1998).

Uma visão moderna sobre o crescimento é formulada a partir dos conceitos moleculares e histológicos, para o que foi preciso desenvolver modelos mecanicistas levando em conta as condições particulares dos diferentes órgãos e a situação endócrina. Produto dessa concepção são os atuais estudos sobre composição da carcaça, crescimento diferencial, adaptações de tecidos de reserva, proliferação celular e apoptose. Estes estudos levam em consideração as determinantes genéticas de cada espécie (DNA), a expressão genética em cada um dos tecidos e a atividade enzimática responsável por essa expressão (Sainz & Baldwin, 2002).

Outra grande área de abrangência dos modelos para ruminantes são as curvas de lactação. Para o pessoal envolvido nos sistemas de produção leiteira, o conhecimento da curva de lactação é fundamental para o desenvolvimento de programas de nutrição, alimentação, seleção genética,

estimação de produção, manejo reprodutivo e delineamento da estrutura populacional do rebanho, entre outras atividades. A curva de lactação típica foi proposta por Wood em 1967 na qual foram definidos os principais parâmetros dela, sendo os mais importantes, a taxa de produção do leite e a estimação do pico de produção, o início do declínio da produção e as semanas totais de lactação. Com estes parâmetros podem ser estimados outros como persistência, tempo para atingir o pico de produção e produção total do leite em cada fase da lactação. Outros modelos têm sido propostos visando o melhoramento das estimativas sobre a curva de lactação. Os modelos propostos por Morant & Gnanasakthy e por Jenkins & Ferrell podem ser mais precisos, mas precisam de um número maior de parâmetros, informação nem sempre disponível (Sainz & Baldwin, 2002). Os novos modelos de curvas de lactação procuram ser dinâmicos e mecanicistas, trocando os modelos empíricos, estáticos e fatoriais antigamente usados. A partir dos trabalhos de Baldwin nos finais da década de 1980, crescentes e sofisticados modelos de estimação têm sido propostos. Muitos destes modelos trabalham a compartimentação dos nutrientes, o custo energético da síntese e secreção do leite, os requerimentos específicos de acordo com a composição química do leite, a dinâmica celular da glândula mamaria, a influência de fatores ambientais e não ambientais sobre a curva de lactação, a raça e o número de lactação (Pollott, 2004; Balwin & Donovan, 2000). Uma limitante ainda não resolvida é o tipo de equações necessárias para identificar os processos de síntese e secreção dos diferentes compostos no alvéolo mamário já que nem sempre todos seguem a clássica equação de Michaelis-Menten com seu tipo exponencial com plateau.

Existem áreas de alta complexidade nos sistemas agrícolas e dentro destes a área de produção de leite é um dos mais complexos. Diversos trabalhos sobre a lactação têm sido desenvolvidos através de modelos abrangentes como a proposta de Baldwin sobre o metabolismo da lactação (Boston, et al 2000; Knight, et al 1994; Beever, et al 1991; Baldwin, et al 1987). Para estes trabalhos ainda faltam parâmetros metabólicos para serem associados aos modelos metabólicos. Diferentes pesquisadores aportam informação sobre indicadores metabólicos, efeitos diretos de ambiente ruminal sobre o metabolismo (por exemplo o aumento da amônia circulante e sua relação com os custos energéticos da lactação), informações sobre os mecanismos de controle endócrino e sobre a transformação endógena de nutrientes. Os modelos mecanicistas sobre a lactação têm permitido um grande desenvolvimento no conhecimento do metabolismo intermediário e dos processos bioquímicos relacionados com a síntese do leite.

Modelo integrado de decisão

Na produção animal não apenas os recursos de origem biológico fazem parte do sistema. Os fatores derivados dos interesses dos produtores, as limitações operativas locais, o sistema

financeiro, as oportunidades do mercado, podem constituir base importante na tomada de decisões. Toda essa informação pode ser objeto de modelagem e constituir base de dados para sistemas inteligentes de decisão. Tanto as informações que provêm de dados científicos quantitativos, como as informações naturais fazem parte das variáveis do sistema e devem ser estudadas. O Modelo Integrado de Decisão (MID) fornece informações econômicas e biológicas da unidade de produção e interage com o tomador de decisões sobre a melhor solução através da simulação de informação onde os dados naturais entram ajudando na operacionalização do modelo permitindo uma melhor descrição do sistema e seu entorno. O MID está se tornando uma importante expressão dos modelos na interação entre lavoura e pecuária, devido a que um produtor terá opções comparativas *a priori* do que será cada um dos cenários dentro da atividade agropecuária. Este tipo de modelo é extremamente útil para o pessoal que faz projeções regionais e planejamento de desenvolvimento sustentável com recursos agropecuários (Silveira, 2002)

Perspectivas dos modelos

Lovatto & Souvant (2002) recolhem os principais argumentos para o uso da modelagem aplicada. Os autores citam, entre outros benefícios, que a modelagem é uma ferramenta de alta performance e baixo custo. Os modelos são representações da realidade e constituem apoio para inúmeras áreas do ensino, da pesquisa e da extensão. A modelagem pode ser utilizada como ferramenta para melhor compreender e otimizar a performance e veracidade dos sistemas. A simulação através de modelos pode ser usada para verificar as áreas da ciência onde o conhecimento é escasso ou inexistente. A simulação é a execução do modelo, representada por um programa computacional, que dá informação sobre o sistema que esta sendo investigado. A simulação é, portanto, um método de pesquisa mais flexível oposto ao método analítico, que é meramente teórico. Finalmente, o desenvolvimento e uso de sistemas de modelagem e simulação exige trabalho multidisciplinar, com equipes de trabalho de áreas diferentes com um objetivo comum, que discute e gera ópticas de análise desde a perspectiva da construção de coletivos.

A finais da década de 1990, surgiram ajudas computacionais ainda não usadas em forma adequada. As últimas gerações de computadores, permitem o trabalho com milhões de dados em forma rápida, o que permitiu o surgimento de novas técnicas na geração de modelos como *Data Mining*, cuja melhor tradução poderia ser agrupamento e comparação de dados sem lógica aparente entre eles, mas que podem informar sobre relações entre os componentes biológicos e não biológicos que nunca foram sequer consideradas. Outra ferramenta de crescente uso são as redes neurais computacionais, conhecidas como ANN (Artificial Neural Network). Estas redes são baseadas em inteligência artificial e mediante estruturas derivadas das sinapses neurais conseguem

desenvolver complexas equações de relacionamento respeitando bases estatísticas. Esta é hoje a melhor ferramenta para solucionar o problema das equações não lineares ainda não resolvido convenientemente e cuja importância no trabalho biológico é máxima (Heald et al., 2000).

A presente revisão procurou motivar o estudo de uma área ainda não suficientemente explorada em Medicina Veterinária sobre as possibilidades de uso da modelagem aplicada em estudos base dos processos metabólicos, necessários em função das perdas econômicas não quantificadas e pela crescente exigência de qualidade dos produtos de origem animal.

Referências bibliográficas

- ASSIS, A. G.; FRANCE, J. Modelling dairy cattle feeding in the South-East region of Brazil. **Agricultural Systems** v.12, p.129-170, 1983.
- BALDWIN, R.L.; DONOVAN, K.C. Modelling the lactating dairy cow. In **Feeding Systems and Feed Evaluation Models**, pp.323-342. Ed Theodorou M.K & France J. Wallingford: CAB International. 2000.
- BALDWIN, R.L.; FRANCE, J.; GILL, M. Metabolism of the lactating cow I. Animal elements of a mechanistic model. **J. Dairy Research**, v.54, p.77-87, 1987.
- BEEVER, D.E.; ROOK, A.J.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; GILL, M. A review of empirical and mechanistic models of lactational performance in the dairy cows. **Livestock Production Science** v.29, p.115-130, 1991.
- BENCHAAR, C., RIVEST, J., POMER, C., CHIQUETE, J. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. **J. Anim. Sci.** v.76, p.617-627, 1998.
- BOSTON, R.C.; FOX, D.G.; SNIFFEN, C.; LANCZEWSKI, E., MUNSON, R., CHALUPA, W. The conversion of a scientific model describing dairy cow nutrition and production to an industry tool. In: **The CPM dairy project modeling nutrient utilization in farm animals**. Eds. McNamara, J.P. France, J. and Beever, D.E., CAB International, Wallingford, UK, 2000. 377p.
- CANGIANO, C.A.; GALLI, J.R; FERNANDEZ, H.H. Conpast 3.0 Programa de computación para la estimación del consumo en bovinos en pastoreo. Una aplicación en sistemas lecheros. In: **Modelos Para a Tomada de Decisões na Produção de Bovinos e Ovinos**. Eds. Everling, D.M.; Quadros, F.L. Viégas, J.; Sanchez, L.M.; Gonçalves, M.B.F.; Lovatto, P.A; Rorato, P.R.N. Santa Maria, RS. 2002.
- DANFAER, A. Mathematical modelling of metabolic regulation and growth. **Livestock Production Science**, v.27, p.1-18, 1991.
- FIALHO, F.B. **Sistemas de apoio à decisão de produção de suínos e aves**. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36, Anais SBZ, p.307-317, Porto Alegre, 1999
- HEALD C. W., KIM T., SISCHO, W.M., COOPER J.B., WOLFGANG D.R. A computerized mastitis decision aid using farm-based records: an artificial neural network approach. **J. Dairy Sci.** v.83, p.711-720, 2000.
- KNIGHT, C.H.; FRANCE, J. BEEVER, D.E. Nutrient metabolism and utilization in the mammary gland. **Livestock Production Science**, v.39 p.129-137, 1994.
- LOVATTO, P.A.;SAUVANT, D. Premissas básicas para o desenvolvimento de modelos na agricultura. In: **Modelos Para a Tomada de Decisões na Produção de Bovinos e Ovinos**. Eds. Everling, D.M.; Quadros, F.L. Viégas, J.; Sanchez, L.M.; Gonçalves, M.B.F.; Lovatto, P.A; Rorato, P.R.N. Santa Maria, RS. 2002.
- LOVATTO, P.A.;SAUVANT, D. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos do suíno. **Ciência Rural**, v.31, p.663-670, 2001.

- MEDEIROS, H.R. **Avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistemas de produção de ruminantes em pastagens**. Tese (doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Faculdade de Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.
- POLLOTT, G. E. Deconstructing milk yield and composition during lactation using biologically based lactation models. **J.Dairy Sci.** v.87, p.2375-2387, 2004.
- RAGSDALE, C.T. **Spreadsheet modeling and decision analysis: a practical introduction to management science**. South Western College Publishing, Cincinnati, 1997. 730p.
- SAINZ, R.D. & BALDWIN, R.L. Models of growth, lactation and digestion in cattle. In: **Modelos Para a Tomada de Decisões na Produção de Bovinos e Ovinos**. Eds. Everling, D.M.; Quadros, F.L. Viégas, J.; Sanchez, L.M.; Gonçalves, M.B.F.; Lovatto, P.A; Rorato, P.R.N. Santa Maria, RS. 2002
- SAUVANT, D. Modelling homeostatic and homeorhetic regulation in lactating animals. **Livestock Production Science**, v.39, p.105-113, 1994.
- SILVA, F.F., MUNIZ, J.A., AQUINO, L.H. & SAFADI, T. Abordagem Bayesiana da curva de lactação de cabras Saanen de primeira e segunda ordem de parto. **Pesq. Agropec. Bras.** v.40, p.27-33, 2005.
- SILVEIRA, V.C. A integração socio-bio-económica através de modelos matemáticos: uma aplicação de estudo na região Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: **Modelos Para a Tomada de Decisões na Produção de Bovinos e Ovinos**. Eds. Everling, D.M.; Quadros, F.L. Viégas, J.; Sanchez, L.M.; Gonçalves, M.B.F.; Lovatto, P.A; Rorato, P.R.N. Santa Maria, RS. 2002.
- WOODWARD, S.J.R. Formulae for predicting animals daily intake of pasture and grazing from the bite weight and composition. **Livestock Production Science**, v.52, p.1-10, 1997.