

CRESCIMENTO ANIMAL E PRODUÇÃO DE LEITE EM FUNÇÃO DO SUPRIMENTO DE NUTRIENTES SEGUEM O MODELO DE SATURAÇÃO CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN

Tadeu Silva de Oliveira¹, Rogério de Paula Lana², Geicimara Guimarães³

RESUMO - Objetivou-se avaliar as respostas em ganho de peso e produção de leite através da suplementação concentrada em bovinos (crescimento e lactação), mantidos em pastagem ou em confinamento. Os dados foram obtidos de 25 experimentos com bovinos em crescimento e suplementados com diferentes níveis de concentrado em pastagens e sete experimentos em confinamento, que não incluíram tratamentos controles, e um experimento com animais em crescimento e três experimentos com vacas em lactação que, exceto em um experimento com vacas, incluiu o tratamento controle (pastagem + sal mineral). Os resultados dos dois primeiros bancos de dados apresentaram resposta linear de 0,12 kg de ganho/kg de concentrado na matéria natural, que proporciona uma conversão de concentrado de 8,3:1, para ambos, pastagens no período da seca e confinamento. O efeito linear foi devido à variação de experimento para experimento e a falta do tratamento controle. No experimento com animais em crescimento em pastagem no período da seca, o ganho de peso diário foi curvilíneo em que o aumento marginal no ganho diário reduziu com o aumento na quantidade de concentrado. Nos três experimentos com vacas em lactação, a produção de leite e a variação de peso corporal (avaliado em somente um experimento) foram curvilíneos, apresentando uma função hiperbólica em que a resposta foi mais pronunciada em baixos níveis de concentrado e em baixos valores nutritivos das pastagens tropicais durante a estação da seca. O modelo de Michaelis-Menten explicou bem a resposta curvilínea do crescimento animal e produção de leite em função do suprimento de nutrientes, podendo ser utilizado para estimar as respostas aos nutrientes e para fazer recomendações de nutrientes nas dietas de bovinos.

Palavras-chave: desempenho animal, modelagem, suplementação

ANIMAL GROWTH AND MILK PRODUCTION AS A FUNCTION OF NUTRIENTS SUPPLY FOLLOW THE SATURATION KINETICS MODEL OF MICHAELIS-MENTEN

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the responses in weight gain and milk production through concentrate supplementation in cattle (growing and lactating) kept on pasture or in feedlot. The data were collected from 25 experiments with bovines at the growing phase supplemented with different levels of concentrate on pastures and seven experiments conducted in feedlot, which did not include control treatments, and one experiment with animals at the growing phase and three experiments with cows at lactation that, except for one experiment with cows, included control treatment (forage + mineral salt). The results from the two databases presented linear response of 0.12 kg gain/kg of concentrate in natural matter, which provides an 8.3:1 conversion of concentrate, for both pastures from the dry season and feedlot. The linear effect was due to the variation from experiment to experiment and the lack of a control treatment. In the experiment with animals at the growing phase on pasture, in the dry season, daily weight gain was curvilinear; where the marginal increase in daily gain reduced with the increase in concentrate level. In the three experiments with lactating cows, milk production and variations in body weight (assessed only in one experiment) were curvilinear, presenting a hyperbolic function in which the response is more marked in low levels of concentrate and low nutritional values of the tropical pastures during the dry season. The model of Michaelis-Menten explained the curvilinear response of animal growth and milk production as a function of nutrient supply, and can be utilized to estimate the responses to the nutrients and to make recommendations of nutrients in diets for cattle.

Key Words: animal performance, modeling, supplementation

¹Departamento de Zootecnia/UFV, Viçosa, MG; tadeusilva@zootecnista.com.br

²Departamento de Zootecnia/UFV, Viçosa, MG; bolsista IB do CNPq; rlana@ufv.br

³Departamento de Economia Rural/UFV, Viçosa, MG; Bolsista ITI do CNPq

1. INTRODUÇÃO

Brasil tem uma população bovina de 195 milhões de animais, basicamente criada em pastagens e recebendo misturas minerais. Os suplementos concentrados têm sido recomendados de forma crescente para bovinos em crescimento e terminação em pastagens, e estudo da eficiência de utilização na produção animal tem tornado mais freqüente com vistas a melhorar a lucratividade (Lana, 2005).

Resposta curvilínea ao aumento na quantidade de concentrado foi observada em animais em crescimento em pastagem, em que os maiores incrementos no ganho diário aconteceram em baixos níveis de concentrado (Lana et al., 2005; Keane et al., 2006). Resposta curvilínea na produção de leite em função do aumento crescente no suprimento de concentrado por vacas suplementadas em pastagens tem sido observada, em que o aumento marginal na produção de leite por kg de concentrado diminui com o aumento na quantidade de concentrado (Bargo et al., 2003; Sairanen et al., 2006), e em alguns estudos a resposta em leite ao uso de concentrado foi satisfatória somente até 2-4 kg de concentrado/animal/dia (Fulkerson et al., 2006).

A resposta curvilínea pode também ser observada em nutrientes específicos, como a observada resposta curvilínea positiva na produção e leite e curvilínea negativa na eficiência de uso de nitrogênio ao aumentar o teor de proteína bruta dietética de 11 para 19% em vacas com média de 38 kg de leite/dia (Baik et al., 2006).

De acordo com o Biotechnology and Biological Sciences Research Council (1998), anteriormente conhecido como AFRC (Agricultural and Food Research Council), todos os sistemas alimentares em uso calculam os requerimentos dietéticos de energia e proteína que os animais requerem para satisfazer suas necessidades para manutenção e um dado nível de produção. Entretanto, na prática, a situação é diferente, porque não existe nenhuma necessidade do fazendeiro satisfazer os requerimentos nutricionais das vacas se for contra os interesses econômicos. Então, fica evidente que estudos de resposta animal aos níveis crescentes de concentrados ou nutrientes específicos são necessários.

Recentemente, foi proposta uma nova metodologia de avaliação de desempenho de animais e de plantas em função do suprimento de nutrientes (Lana et al., 2005). A resposta curvilínea foi associada com a cinética de saturação típica de sistemas enzimáticos, descrita por Michaelis & Menten (1913). O modelo de Lineweaver & Burk (1934) foi usado para obter as constantes cinéticas, k_s (a quantidade de substrato necessária para atingir metade da taxa de crescimento ou produção de leite máxima teórica) e k_{max} (taxa de crescimento ou produção de leite máxima teórica).

Este trabalho teve como objetivo avaliar as respostas no crescimento animal ou produção de leite em função de níveis crescentes de suprimento de concentrado, e ainda avaliar os programas de computador para explicar estes efeitos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Um banco de dados de bovinos em crescimento suplementados em pastagens tropicais durante a estação seca (0,96 e 0,42 Mcal/kg de matéria seca de EL_m e EL_g , respectivamente, e 4% de PB) foi obtido nos resumos dos encontros anuais da Sociedade Brasileira de Zootecnia, de 1989 a 1995, incluindo um grande número de animais (1230), experimentos (25) e tratamentos (74). Os suplementos foram baseados em milho, farelo de soja, uréia e mistura mineral.

Um segundo banco de dados incluiu sete experimentos de bovinos em crescimento/terminação em confinamento, recebendo dietas contendo 15 a 85% de concentrado.

Um experimento foi conduzido para avaliar o desempenho de novilhos alimentados com suplementos concentrados em pastagem tropical durante a estação da seca (Lana et al., 2005). Cinquenta e cinco novilhos com 10 meses de idade e média de 226 kg de peso corporal foram distribuídos em um desenho experimental inteiramente casualizado. Os tratamentos dietéticos consistiram de cinco níveis de suplementos (0,00; 0,12; 0,25; 0,50 e 1,00% do peso corporal/animal/dia), em adição a mistura mineral fornecida separadamente. O suplemento continha 24% de PB, com base em fubá de milho e farelo de soja.

Três experimentos foram conduzidos com vacas em lactação com o principal objetivo de avaliar os efeitos dos suplementos na produção e composição do leite, sem incluir a quantidade de leite ingerida pelo bezerro, que não foi mensurada, mas que provavelmente foi a mesma nos diferentes tratamentos. O primeiro experimento foi conduzido com oito vacas mestiças Holandês-Zebu (517±40 kg), distribuídas em dois quadrados latinos 4 x 4, durante quatro períodos de 14 dias. O experimento foi desenvolvido em pastagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) na estação chuvosa - 8% de PB, e os tratamentos incluíram um controle (mistura mineral) e suplementos com 24% de PB na matéria seca em níveis de 1,25; 2,5; e 5,0 kg/animal/dia, com base em fubá de milho, farelo de soja, uréia e mistura mineral.

O segundo experimento permitiu avaliar os efeitos das quantidades de suplementos e o conteúdo de proteína em vacas alimentadas em *freestall*. Oito vacas mestiças Holandês-Zebu (515 kg) foram distribuídas em dois quadrados latinos 4 x 4, em quatro períodos de 15 dias, recebendo como volumoso em torno de 40 kg/dia de cana-de-açúcar picada adicionada de 0,25% de mistura uréia/sulfato de amônia 9:1. Os tratamentos consistiram de um controle (mistura mineral) e 1,25; 2,5; e 5,0 kg/animal/dia de suplementos com 68, 43 e 24% de PB, respectivamente, baseados em fubá de milho (00,0; 42,2 e 75,4%, respectivamente), farelo de soja (76,0; 46,2 e 18,8%, respectivamente), mistura de uréia/sulfato de amônia 9:1 (11,5; 5,9 e 2,9%, respectivamente), e sal mineral (12,5; 5,7 e 2,9%, respectivamente).

O terceiro experimento foi conduzido em *freestall*. Vinte vacas Gir em lactação (média de 416 kg; 13,8 kg de leite/dia e 61,6 dias de lactação) foram distribuídas em delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos em cinco repetições, durante 63 dias. Os tratamentos experimentais consistiram de quatro níveis de concentrado na matéria seca total da dieta: 11,7; 23,4; 35,2 e 46,8%; e a silagem de sorgo foi utilizada como volumoso. Os concentrados continham fubá de milho (23,1; 60,9; 63,8 e 67,4%, respectivamente), farelo de soja (52,1; 31,1; 30,9 e 28,6%, respectivamente), uréia + sulfato de amônia (9:1) (7,73; 3,84; 2,55 e 1,91%, respectivamente) e sal mineral (8,04; 4,19; 2,75 e 2,10%, respectivamente). As dietas apresentaram níveis de 12, 13, 15 e 16% de proteína bruta e 1,35; 1,45; 1,52 e 1,59 Mcal de EL_g /kg de matéria seca, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de análises dos 25 experimentos com bovinos em crescimento, recebendo suplementação em pastagens tropicais durante a estação da seca, revelaram grande variação.

Então os dados foram agrupados e a média de consumo de suplementos e os respectivos ganhos de peso foram calculados em intervalos de 0,5 kg de suplemento (Figura 1). Foi obtida equação de regressão linear com alto coeficiente de determinação, embora uma equação não linear fosse esperada. A média de ganho de peso foi de 0,17 kg/animal/dia sem uso de suplemento concentrado e aumento pelo uso de concentrado de 0,12 kg de ganho/kg de concentrado na matéria natural. A recíproca deste coeficiente representa a conversão de concentrado de 8,3:1.

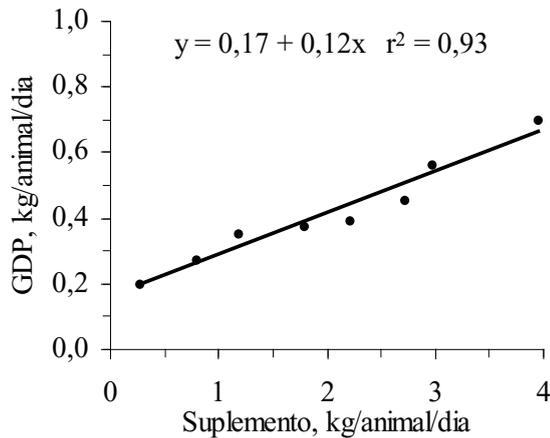


Figura 1 - Ganho de peso médio diário (GDP) de novilhos em pastagens tropicais durante a estação seca em função do consumo de suplemento. Foram utilizadas informações de 25 pesquisas nesta avaliação.

Os dados de sete experimentos com níveis crescentes de concentrado para bovinos em confinamento foram também agrupados em intervalos de 0,5 kg de suplemento. A média de ganho diário foi de 0,58 kg/animal/dia sem concentrado e 0,12 kg de ganho/kg de concentrado na matéria natural, com conversão de concentrado de 8,3:1 (Figura 2).

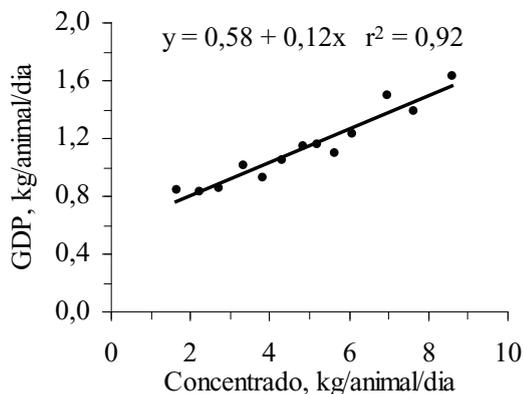


Figura 2 - Ganho de peso médio diário (GDP) de novilhos em confinamento em função do consumo de concentrado. Foram utilizadas informações de sete pesquisas nesta avaliação.

Os dois bancos de dados de bovinos em crescimento em pastagens tropicais durante a estação da seca e em confinamento apresentaram respostas lineares de 0,12 kg de ganho por kg de concentrado (Figuras 1 e 2). A recíproca deste valor proporciona a conversão de concentrado de 8,3:1, que é típica de suplementação energética, representando ineficiência na utilização de nutrientes devido ao efeito associativo negativo (Bodine & Purvis, 2003). Por outro lado, respostas curvilíneas podem ser esperadas ao utilizar tratamentos com baixos níveis de suplementos como controles ou testemunhas.

Entretanto, as respostas em ganho de peso de bovinos em crescimento em pastagens tropicais durante a estação seca em função do suprimento de concentrados foram curvilíneas, de forma hiperbólica, quando o tratamento controle contendo sal mineral foi incluído (Figura 3A). A eficiência de uso de suplemento, em quilogramas de ganho por kg de suplemento comparado com o tratamento anterior, foi alta no nível de 0,4 kg/animal/dia e diminuiu drasticamente quando 0,8 kg de suplemento foi usado, e reduções foram observadas pelos aumentos dos níveis de suplemento (Figura 3B).

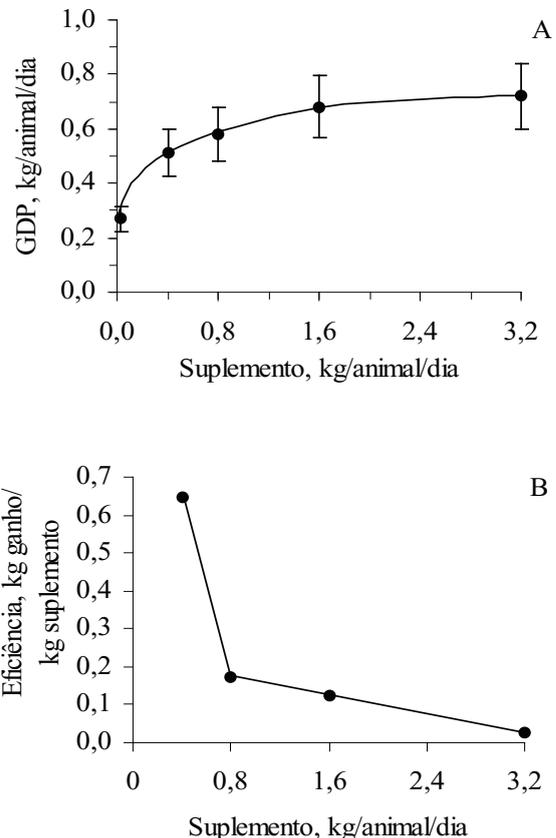


Figura 3 - Ganho de peso médio diário (GDP) de novilhos em pastagens tropicais durante a estação seca em função do consumo de suplemento - 24% de PB (A), e eficiência de utilização de suplemento (B) em quilogramas de ganho por kg de suplemento comparado com o tratamento prévio. Cada ponto representa a média de 11 animais (adaptado de Lana et al., 2005).

Os ganhos diários estimados pelo nível 1 do NRC 1996 de gado de corte foram lineares em função dos consumos de energia e proteína metabolizáveis, diferentes dos resultados curvilíneos observados (Figura 4).

O NRC (1996), baseado no sistema de energia líquida da Califórnia e sistema de proteína metabolizável, não permitem explicar a resposta curvilínea no ganho diário de gado de corte suplementado em pastagem com níveis crescentes de concentrado (Figura 4), em que a relação curvilínea é mais acentuada em baixo nível de concentrado.

Grandes respostas no ganho de peso (Figuras 3A e 3B) e produção de leite (Figuras 5A e 5C) foram verificadas quando baixas quantidades de concentrado foram fornecidas, diminuindo com o aumento no suprimento de concentrado. De acordo com Bargo et al. (2003), a taxa de substituição, ou a redução no consumo de matéria seca de pastagem por quilograma de concentrado, é o fator que pode explicar a variação na produção de leite pela suplementação. Entretanto, uma teoria mais ampla para explicar este efeito pode ser encontrada na publicação de Lana et al. (2005), em que as respostas curvilíneas aos nutrientes (energia, proteína e minerais) observadas em animais e plantas são similares àquelas descritas por Michaelis & Menten (1913) para sistemas enzimáticos e por Monod (1949) para microrganismos quando a concentração de substrato é aumentada.

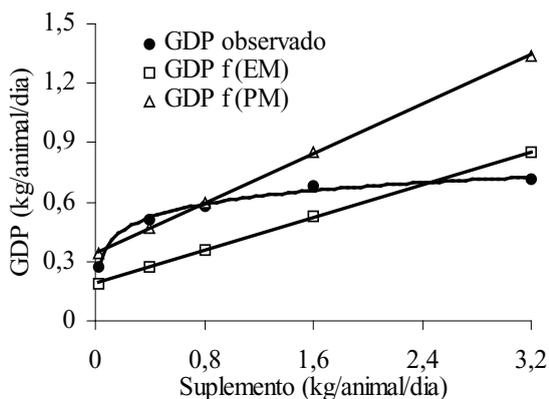


Figura 4 - Ganho de peso médio diário (GDP), observado e estimado pelo NRC (1996), nível 1, em função do consumo de energia (EM) e proteína (PM) metabolizáveis no suplemento - 24% de PB.

A produção de leite em função do consumo de concentrado foi curvilínea em todos os três experimentos quando os tratamentos controles foram usados (Figura 5A). Equações lineares da recíproca da produção de leite em função da recíproca do consumo de concentrado foram usadas para explicar os dados (Figura 5B). A eficiência de utilização de concentrado diminuiu em função do aumento do consumo de concentrado (Figura 5C).

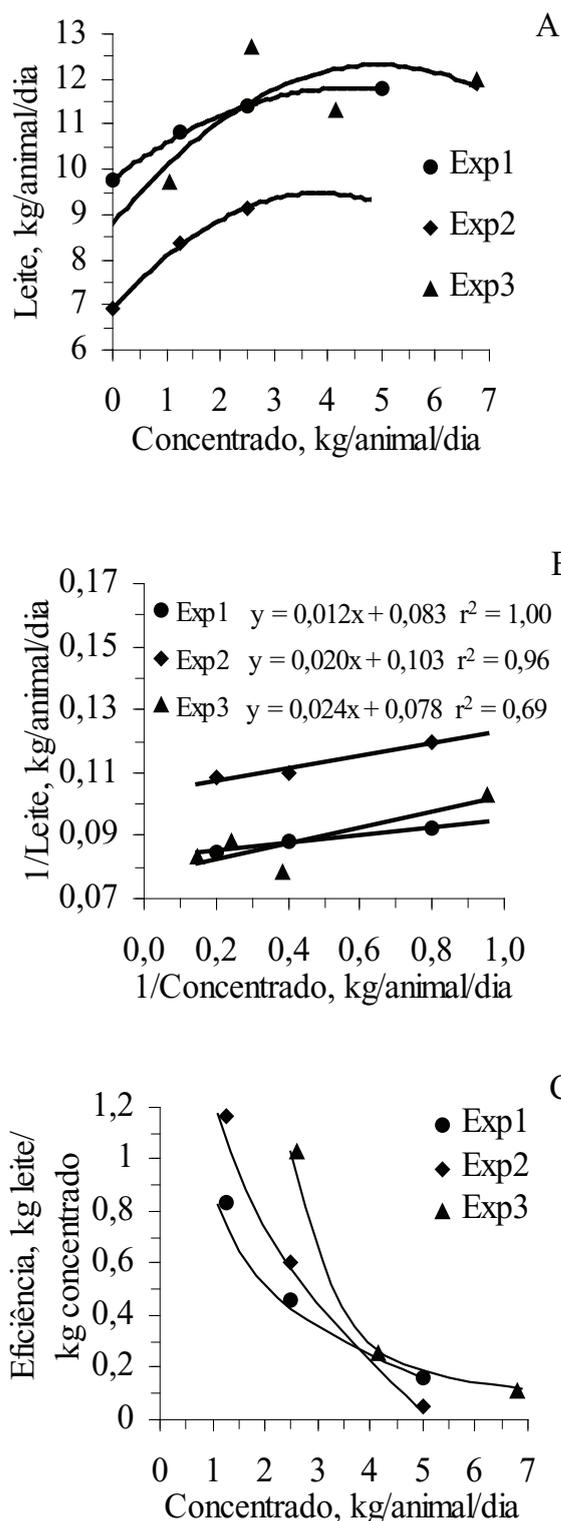


Figura 5 - Produção de leite em função do consumo de concentrado (A), recíproca da produção de leite em função da recíproca do consumo de concentrado (B), e eficiência de

utilização de concentrado (C) em quilogramas de leite por kg de concentrado comparado como o tratamento anterior.

A produção máxima teórica de leite (k_{max}), obtida pela recíproca do intercepto ($1/a$) – Figura 5B, foi de 12,0; 9,7 e 12,8 kg/animal/dia para os experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. A quantidade de concentrado necessária para atingir metade da produção máxima teórica de leite (k_s), obtida pela razão entre o coeficiente de regressão linear e o intercepto (b/a) – Figura 5B, foi de 0,14; 0,19 e 0,31 kg/animal/dia para os experimentos 1, 2 e 3, respectivamente.

As respostas na produção de leite e na variação de peso corporal com o aumento no nível de concentrado no experimento com vacas Gir em lactação foram curvilíneas. Os animais responderam com 1,73; 0,46 e 0,36 kg extra de leite e 0,20; 0,12 e 0,095 kg extra de ganho de peso corporal por quilograma adicional de consumo de concentrado na matéria natural para os tratamentos 23,4; 35,2 e 46,8% de concentrado na matéria seca total da dieta comparado com o controle (11,7% de concentrado).

As produções de leite estimadas pelos modelos do CNCPS 5.0 e NRC 2001 de gado de leite foram lineares em função dos consumos de energia metabolizável (EM), energia líquida (EL) e proteína metabolizável (PM) pelo uso de níveis crescentes de concentrado (Figuras 6A e 6B), diferente das respostas observadas (Figura 5A). Em adição, as respostas esperadas de leite pelos modelos foram de 2,22 a 2,65 kg de acréscimo em leite/kg de concentrado na matéria natural (Figuras 6A e 6B), valores estes maiores que os observados de 0,4 e 0,43 kg/kg, ou 2 e 3 kg extra de leite quando 5 e 7 kg de concentrado na matéria natural foram usados comparado com o tratamento controle, respectivamente (Figura 5A).

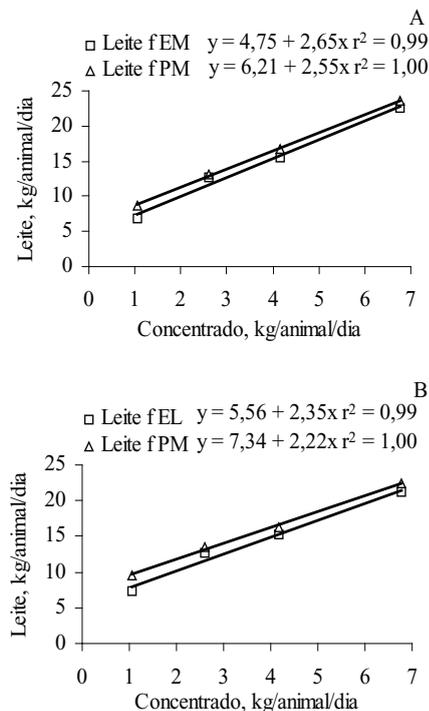


Figura 6 - Produção de leite estimada pelo CNCPS 5.0 (A) e pelo NRC (2001) (B), em função do consumo de energia metabolizável (EM), energia líquida (EL) e proteína metabolizável (PM) pelo uso de nível crescente de concentrado. Os dados de entrada foram baseados nos valores observados do Exp. 3 (Figura 5), incluindo dados de animal, consumo de alimentos, composição de alimentos e outras variáveis.

De maneira similar, os sistemas de energia líquida (NRC, 2001) e metabolizável (Fox et al., 2003) para gado de leite não permitem explicar a resposta curvilínea na produção de leite em vacas recebendo níveis crescentes de concentrado (Figura 5), apresentando no lugar uma relação linear (Figura 6).

Portanto, os sistemas de energia líquida e metabolizável para gado de corte e leite não são adequados para estimar o metabolismo energético de bovinos em condições de baixo nível de nutrição. Suas previsões lineares são provavelmente devido às estimativas lineares do requerimento de energia líquida para manutenção, crescimento e produção de leite, e estimativas lineares da eficiência de utilização de energia metabolizável para produção de energia líquida.

De acordo com Russell (1984), existe um número de publicações que verificaram um dramático aumento na população de algumas bactérias ruminais após a alimentação dos bovinos. Também, algumas publicações apresentaram grande rendimento microbiano quando fontes de carbono eram limitantes, provavelmente devido à grande perda energética quando fontes de carbono estavam em excesso. Esta perda energética é chamada de “energyspilling, uncoupling ou futilecycles - desperdício de energia, desacoplamento ou ciclos fúteis”, e pode ser observada no corpo dos animais semelhantemente aos microrganismos e pode explicar a resposta curvilínea ao suprimento de energia.

Determinações diretas de taxas de metabolismo energético ao nível de manutenção por microrganismos eram difíceis de serem obtidas até recentemente devido à falta de equipamentos sensíveis para medir baixas taxas de produção de calor (Russell & Cook, 1995). Wells & Russell (1994) verificaram que as taxas de metabolismo energético ao nível de manutenção de bactérias *Fibrobacter succinogenes* em crescimento eram no mínimo três vezes maiores que a taxa endógena de bactérias em meio com baixo nível de energia, e as bactérias eram mantidas viáveis até o metabolismo endógeno atingir valor vinte vezes menor que a manutenção.

O sistema de energia líquida da Califórnia é baseado em métodos de abate comparativo, através da mensuração do consumo de energia metabolizável, energia retida e produção de calor por diferença entre as duas primeiras variáveis, em bovinos alimentados no mínimo em dois níveis de consumo: manutenção e alimentação à vontade para um determinado desempenho (Lofgreen & Garrett, 1968).

O intercepto da regressão linear do logaritmo da produção de calor em função do consumo de energia metabolizável é usado para estimar a produção de calor em jejum ou requerimento de energia líquida para manutenção. Embora a equação logarítmica seja usada para calcular a produção de calor em jejum, há uma relação quase linear, porque os animais são normalmente alimentados em somente dois níveis de consumo.

A linearidade para obter a taxa de metabolismo energético ao nível de manutenção assume que a produção de ATP por unidade de fonte de energia não muda, a composição celular permanece a mesma, e a manutenção é dependente da massa celular e tempo (Russell & Cook, 1995). Entretanto, Pirt, citado por Russell & Cook (1995), indicaram que a taxa de metabolismo energético ao nível de manutenção da bactéria *Selenomonas ruminantium* não é linear, e resultados parecidos são esperados em grandes animais.

Modelos de saturação cinética para explicar as respostas aos nutrientes pelos seres vivos superiores não têm sido utilizados (Morgan et al., 1975). O modelo de Michaelis-Menten estima bem a resposta curvilínea de animais em crescimento e produção de leite em função do consumo de concentrado (Lana et al., 2005; Pimentel et al., 2006; Lana et al., 2007a,b). O modelo de Michaelis-Menten é o seguinte: $k = (k_{\max} * S)/(k_s + S)$, onde k é a taxa específica de crescimento ou produção de leite, k_{\max} é a taxa de crescimento ou produção de leite máxima teórica, S é a concentração de substrato e k_s é a quantidade de substrato necessária para atingir metade da taxa de crescimento ou produção de leite máxima teórica.

O modelo de saturação cinética de Michaelis-Menten indica que pelo aumento do suprimento de nutrientes, há uma redução efetiva na utilização de nutrientes em uma curva hiperbólica, e esta observação permite explicar a resposta curvilínea no ganho de peso e produção de leite pelo aumento na quantidade de concentrado (Lana et al., 2005).

A transformação de dados de Lineweaver-Burk foi recentemente usada para explicar o desempenho animal e vegetal em função do suprimento de nutrientes. Este procedimento permite obter as constantes cinéticas do modelo de Michaelis-Menten, k_s e k_{\max} . Em adição, a transformação de dados de Lineweaver-Burk permite calcular a quantidade de concentrado ou de um nutriente específico (x) necessário para atingir outras porcentagens da resposta máxima teórica como, por exemplo, 60, 70, 80 e 90%, ao substituir y por $1/(a * (\text{porcentagem de resposta}/100))$ nos modelos lineares de transformação de dados (Lana et al., 2005).

Este procedimento pode ser uma alternativa para os métodos fatoriais na estimativa dos requerimentos nutricionais dos animais. Em vez de calcular a quantidade dos nutrientes dietéticos que os animais precisam para satisfazer suas necessidades de manutenção e um dado nível de produção, como todos os sistemas sugerem (Biotechnology and Biological Sciences Research Council, 1998), será possível calcular os requerimentos nutricionais em função da eficiência de utilização de nutrientes. Estas informações são de grande importância econômica e ambiental, uma vez que a perda de nutrientes causa poluição ambiental, desperdício de recursos naturais não renováveis, e aumento do custo de produção.

4. CONCLUSÕES

As respostas em crescimento e produção de leite em função do consumo de ração concentrada são curvilíneas e apresentam formas hiperbólicas típicas de sistemas enzimáticos.

Os sistemas recentes de gado de corte e gado de leite do NRC, e o sistema Cornell, baseados nos sistemas de energia

líquida e metabolizável e proteína metabolizável, não explicam os relacionamentos curvilíneos do crescimento animal e produção de leite em função do suprimento de concentrado, apresentando no lugar respostas lineares.

O modelo de Michaelis-Menten estima as respostas curvilíneas do crescimento animal e produção de leite em função do suprimento de nutrientes. Este procedimento pode ser uma alternativa para os métodos fatoriais na estimativa dos requerimentos nutricionais dos animais, ao considerar as respostas nutricionais e a eficiência de utilização dos nutrientes.

5. LITERATURA CITADA

- BAIK, M.; ASCHENBACH, J.R.; VANDEHAAR, M.J. et al. Effect of dietary protein levels on milk production and nitrogen efficiency in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.89, Suppl. 1, p.81, 2006.
- BARGO, F.; MULLER, L.D.; KOLVER, E.S. et al. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.1-42, 2003.
- BIOTECHNOLOGY AND BIOLOGICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL. **Responses in the yield of milk constituents to the intake of nutrients by dairy cows**. Wallingford, UK: CAB International, 1998. 96p.
- BODINE, T.N.; PURVIS, H.T. Effects of supplemental energy and/or degradable intake protein on performance, grazing behavior, intake, digestibility, and fecal and blood indices by beef steers grazed on dormant native tallgrass prairie. **Journal of Animal Science**, v.81, p.304-317, 2003.
- FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P.; TEDESCHI, L.O. et al. **The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion**. CNCPS versão 5.0. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY, 2003.
- FULKERSON, W.J.; NANDRA, K.S.; CLARK, C.F. et al. Effect of cereal-based concentrates on productivity of Holstein-Friesian cows grazing short-rotation ryegrass (*Lolium multiflorum*) or Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures. **Livestock Science**, v.103, p.85-94, 2006.
- KEANE, M.G.; DRENNAN, M.J.; MOLONEY, A.P. Comparison of supplementary concentrate levels with grass silage, separate or total mixed ration feeding, and duration of finishing in beef steers. **Livestock Science**, v.103, p.169-180, 2006.
- LANA, R.P. **Nutrição e alimentação animal - mitos e realidades**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 344p.
- LANA, R.P.; ABREU, D.C.; CASTRO, P.F.C. et al. Milk production as a function of energy and protein sources supplementation follows the saturation kinetics typical of enzyme systems. In: 2nd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY AND PROTEIN METABOLISM AND NUTRITION, 2007a, Vichy. **Proceedings...** Vichy, França: European Association for Animal Production, 2007a.
- LANA, R.P.; ABREU, D.C.; CASTRO, P.F.C. et al. Kinetics of milk production as a function of energy and protein supplementation. **Journal of Animal Science**, v.85, Suppl. 1, p.566, 2007b.

- LANA, R.P.; GOES, R.H.T.B.; MOREIRA, L.M. et al. Application of Lineweaver-Burk data transformation to explain animal and plant performance as a function of nutrient supply. **Livestock Production Science**, v.98, p.219-224, 2005 (e **Journal of Animal Science**, v.83, Suppl. 1, p.51, 2005).
- LINEWEAVER, H.; BURK, D. The determination of enzyme dissociation constants. **Journal of the American Chemical Society**, v.56, p.658-666, 1934.
- LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.27, p.793-806, 1968.
- MICHAELIS, L.; MENTEN, M.L. Kinetics of invertase action. **Biochemistry Journal**, v.49, p.333-369, 1913.
- MONOD, J. The growth of bacterial cultures. **Annual Review of Microbiology**, v.3, p.371-394, 1949.
- MORGAN, H.P.; MERCER, L.P.; FLODIN, N.W. General model for nutritional responses of higher organisms. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.72, n.11, p.4327-4331, 1975.
- NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 1996. 242p.
- NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
- PIMENTEL, J.J.O.; LANA, R.P.; ZAMPERLINI, B. et al. Milk production as a function of nutrient supply follows a Michaelis-Menten relationship. **Journal of Dairy Science**, v.89, Suppl. 1, p.61, 2006.
- RUSSELL, J.B. Factors influencing competition and composition of the ruminal bacterial flora. In: GILCHRIST, F.M.C.; MACKIE, R.I. (Eds.) **The Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics**. Craighall, South Africa: Science Press, 1984. p.313-345.
- RUSSELL, J.B.; COOK, G.M. Energetics of bacterial growth: balance of anabolic and catabolic reactions. **Microbiology Reviews**, v.59, p.48-62, 1995.
- SAIRANEN, A.; KHALILI, H.; VIRKAJARVI, P. Concentrate supplementation responses of the pasture-fed dairy cow. **Livestock Science**, v.104, n.3, p.292-302, 2006.
- WELLS, J.E.; RUSSELL, J.B. The endogenous metabolism of *Fibrobacter succinogenes* and its relationship to cellobiose transport, viability and cellulose digestion. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.41, p.471-476, 1994.