



Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Brasil

de Abreu, Daniel C.; Lana, Rogério de P.; de Oliveira, André S.; Teixeira, Rafael M. A.; Ghedini, Caren P.; Fonseca, Mozart A.; de Paula, Ricardo M.

Cinética da produção de leite em função da suplementação com concentrados energéticos e proteicos

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 8, núm. 4, 2013, pp. 675-680

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119029239024>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Cinética da produção de leite em função da suplementação com concentrados energéticos e proteicos

Daniel C. de Abreu¹, Rogério de P. Lana¹, André S. de Oliveira², Rafael M. A. Teixeira³,
Caren P. Ghedini¹, Mozart A. Fonseca¹ & Ricardo M. de Paula¹

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, Avenida P. H. Rolfs, s/n, Campus UFV, CEP 36571-000, Viçosa-MG, Brasil. E-mail: abreu@agronomo.eng.br; rrlana@ufv.br; caren.ghedini@ufv.br; mozarlfonseca@gmail.com; ricardomarostegany@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Av. Alexandre Feronato, 1200, Setor Industrial, CEP 78557-267, Sinop-MT, Brasil. E-mail: andresoli@ufmt.br

³ Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Rua João Batista Ribeiro, 4000, Mercês, CEP 38045-790, Uberaba-MG, Brasil. E-mail: rafaelteixeira@iftm.edu.br

RESUMO

Três experimentos foram conduzidos com o objetivo de avaliar os efeitos da suplementação energética e proteica sobre a produção e composição do leite de vacas mestiças. Doze vacas foram distribuídas em três experimentos, em quadrados latinos 4 x 4, em quatro períodos de quatorze dias. Os tratamentos consistiram de níveis crescentes de fubá de milho – M (0,0; 0,85; 1,70; e 3,40 kg vaca⁻¹ dia⁻¹), farelo de soja – FS (0,0; 0,65; 1,30; e 2,60 kg vaca⁻¹ dia⁻¹) e grão de soja moído – GS (0,32; 0,65; 1,30 e 2,60 kg vaca⁻¹ dia⁻¹). Não houve efeito de tratamentos porém a média de produção de leite apresentou resposta curvilínea aos níveis de concentrados, seguindo o modelo de Michaelis-Menten de sistemas enzimáticos, de acordo com as equações de Lineweaver-Burk (Exp. 1: 1/Leite = 0,0384*(1/M) + 0,168 r^2 = 0,91; Exp. 2: 1/Leite = 0,0181*(1/FS) + 0,196 r^2 = 0,99; Exp. 3: 1/Leite = 0,0140*(1/GS) + 0,116 r^2 = 0,98). A produção máxima teórica de leite (1/a) foi de 5,9; 5,1 e 8,6 kg animal⁻¹ dia⁻¹ e a quantidade de concentrado para atingir a relação custo-benefício zero foi de 0,95; 0,60 e 0,90 kg para M, FS e GS. Os modelos de saturação cinética são apropriados para explicar esses efeitos e prescrever recomendação de nutrientes na alimentação animal.

Palavras-chave: desempenho, gado de leite, Lineweaver-Burk, Michaelis-Menten, nutrição

Kinetics of milk production as a function of energy and protein supplementation

ABSTRACT

Three studies were conducted to evaluate the effects of energy and protein supplementation on milk production by crossbred cows in pasture and feedlot. Twelve cows were allotted in three-4 x 4 Latin squares, in four periods of fourteen days. The treatments consisted of increased levels of corn meal-CM (0.0, 0.85, 1.7 and 3.4 kg.cow⁻¹.day⁻¹), soybean meal-SM (0.0, 0.65, 1.3 and 2.6 kg) and grinded soybean grain-SG (0.32, 0.65, 1.3 and 2.6 kg). There were no treatment effects, although the mean data of milk production presented a curvilinear response to concentrate levels, following a Michaelis-Menten relationship, according to the next equations of Lineweaver-Burk: Exp. 1: 1/Milk = 0.0384*(1/CM) + 0.168 r^2 = 0.91; Exp. 2: 1/Milk = 0.0181*(1/SM) + 0.196 r^2 = 0.99; Exp. 3: 1/Milk = 0.0140*(1 SG) + 0.116 r^2 = 0.98. The theoretical maximum milk production (1/a) were 5.9, 5.1 and 8.6 kg.animal⁻¹.day⁻¹ and the calculated amounts of supplements to reach marginal cost-benefit zero were 0.95, 0.6 and 0.9 kg for CM, SM and SG. The models of saturation kinetics are appropriate to explain these effects and to make nutrient recommendations.

Key words: dairy cattle, Lineweaver-Burk, nutrition, Michaelis-Menten, performance

Introdução

A suplementação representa uma estratégia para potencializar a ingestão e a eficiência de utilização dos alimentos na nutrição de bovinos. Nas últimas décadas a pesquisa científica possibilitou consolidar os fundamentos nutricionais e delinear estratégias de suplementação de vacas leiteiras. No entanto, devido à complexidade e à natureza dinâmica dos sistemas de produção de bovinos, um dos desafios atuais é desenvolver ferramentas acessíveis aos produtores e profissionais de ciências agrárias para subsidiar as decisões sobre as estratégias da suplementação concentrada (Oliveira et al., 2012).

No início do século passado, Mitscherlich (1909) propôs a teoria da resposta marginal (ou rendimentos) decrescente do fornecimento de nutrientes cujos princípios foram essenciais para definição do nível ótimo de suplementação concentrada utilizados na atualidade (Lana et al., 2005; Lana, 2009; Oliveira et al., 2010; Oliveira et al., 2012) mas, de acordo com o Biotechnology and Biological Sciences Research Council (1998), os sistemas alimentares em uso calculam os requerimentos dietéticos de energia e proteína que os animais requerem para satisfazer suas necessidades para manutenção visando a um dado nível de produção; todavia, na prática a situação é diferente, porque não existe qualquer necessidade do produtor satisfazer os requerimentos nutricionais das vacas se for contra os interesses econômicos. Evidencia-se, desta forma, a necessidade de estudos de resposta animal aos níveis crescentes de suplementos.

Os suplementos concentrados são ricos em energia uma vez que possuem mais de 60% de nutrientes digestíveis totais (NDT) e podem ser subdivididos em básicos ou energéticos (abaixo de 20% de proteína bruta – PB), a exemplo do fubá de milho; proteicos (acima de 20% de PB), por exemplo, o farelo de soja e grão de soja dentre outros constituintes como, por exemplo, os suplementos minerais, suplementos vitamínicos e aditivos.

De acordo com Vilela et al. (1980), a resposta produtiva de suplementos concentrados para vacas leiteiras em pastagem varia de 0,50 a 0,90 kg de leite kg^{-1} de concentrado, no período de chuva e de 0,80 a 0,95, no período de seca. Deresz et al. (2003) encontraram resposta de 0,45 kg de leite kg^{-1} de concentrado, enquanto Alvim et al. (1997) e Bargo et al. (2003) observaram resposta de 1,0 kg de leite kg^{-1} de concentrado; em todos os casos, os concentrados eram à base de milho e farelo de soja.

O efeito do nível de concentrado sobre a produção de leite deve ser estudado, uma vez que a resposta na produção de leite reduz com o aumento no uso de concentrado (Bargo et al., 2003; Teixeira et al., 2010; Oliveira et al., 2010; Lana et al., 2011). Desta forma, há necessidade de se realizar pesquisas para melhor verificar este comportamento sobre o desempenho dos animais e a viabilidade econômica da suplementação.

Objetivou-se avaliar os efeitos de uso de concentrados energético e proteico, representados pelos níveis crescentes de ingredientes concentrados (fubá de milho, farelo de soja e grãos de soja moídos), sobre a produção e composição de leite de vacas mestiças em pastagem e confinadas, tal como o ajuste de modelos de saturação cinética aos dados de produção de leite.

Material e Métodos

Três experimentos foram conduzidos na unidade experimental de Cachoeira de Santa Cruz, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), na cidade de Viçosa, Minas Gerais. Em cada experimento utilizaram-se 12 vacas mestiças holandês-zebu, entre as 3^a e 5^a lactações, distribuídas em três quadrados latinos 4 x 4. Os experimentos foram conduzidos durante quatro períodos experimentais de 14 dias cada um, no ano de 2010.

O primeiro experimento foi conduzido em sistema de confinamento, onde vacas com peso corporal médio de 520 kg, receberam como volumoso cana-de-açúcar + 0,5% de ureia:sulfato de amônio (9:1), sendo fornecidos 40 kg vaca $^{-1}$ dia $^{-1}$ deste volumoso, além de suplemento mineral à vontade. Os tratamentos experimentais foram constituídos de quatro níveis de milho moído: 0,0; 0,85; 1,70 e 3,40 kg vaca $^{-1}$ dia $^{-1}$.

O segundo experimento ocorreu também em confinamento, em que vacas com peso corporal médio 480 kg receberam, como tratamentos experimentais, níveis crescentes de farelo de soja: 0,0; 0,65; 1,30 e 2,60 kg vaca $^{-1}$ dia $^{-1}$. Como volumoso os animais receberam aproximadamente 35 kg dia $^{-1}$ animal $^{-1}$ de cana-de-açúcar corrigida com 0,5% de mistura ureia:sulfato de amônio (9:1) e mistura mineral à vontade.

No terceiro experimento, vacas com peso corporal médio de 530 kg foram mantidas em pastagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) durante o período da seca e tiveram acesso à vontade a uma mistura múltipla contendo farelo de trigo, ureia:sulfato de amônio (9:1) e sal mineral, na proporção de 50:25:25, após adaptação prévia ao uso de ureia. Os tratamentos experimentais consistiram de 0,32; 0,65; 1,30 e 2,60 kg vaca $^{-1}$ dia $^{-1}$ de grãos de soja moídos.

Os concentrados foram fornecidos em duas porções diárias durante as ordenhas da manhã e da tarde. O peso dos animais foi obtido semanalmente, sendo as amostras de leite da 1^a e 2^a ordenhas do 14º dia de cada período experimental, coletadas e compostas por animal para determinação dos constituintes. Determinaram-se os teores de proteína, gordura, lactose, extrato seco total e contagem de células somáticas no laboratório de qualidade do leite do Centro Nacional de Pesquisas de Gado de Leite, CNPGL-EMBRAPA, em Juiz de Fora, MG.

Os experimentos foram analisados em quadrado latino incluindo efeitos de tratamentos (regressão polinomial), quadrado latino, animal dentro de quadrado latino e período. Nas análises para avaliar efeitos de tratamento, animal e período, utilizaram-se os programas do *Statistical Analysis System* (SAS, 1991) a 5% de significância. Além das análises estatísticas foram utilizados ainda os procedimentos matemáticos de Lineweaver-Burk (1934), descritos em Lana et al. (2005), para ajuste dos dados de produção de leite em função da suplementação concentrada.

Resultados e Discussão

Considerando que em dois experimentos prévios não houve efeito de nível de concentrado sobre o consumo de volumoso (Barbosa et al., 2001; Teixeira et al., 2011) e que o teor de

Tabela 1. Consumo de volumoso, concentrado, ureia e suplemento na matéria natural (MN) e matéria seca (MS), consumo de proteína bruta e estimativas do teor de proteína bruta e concentrado na dieta total em função da suplementação com nível crescente de suplementos concentrados¹

Item	Experimento 1 (kg de fubá de milho vaca ⁻¹ dia ⁻¹)				Experimento 2 (kg de farelo de soja vaca ⁻¹ dia ⁻¹)				Experimento 3 (kg grão de soja moído vaca ⁻¹ dia ⁻¹)			
	0,00	0,85	1,70	3,40	0,0	0,65	1,30	2,60	0,32	0,65	1,3	2,6
Consumo (kg MN.vaca⁻¹.dia⁻¹)												
Volumoso ²	40	40	40	40	35	35	35	35	35	35	35	35
Concentrado ³	0	0,8	1,7	3,4	0	0,6	1,3	2,6	0,3	0,6	1,3	2,6
Suplemento ⁴	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	0,6
Consumo (kg MS.vaca⁻¹.dia⁻¹)												
Volumoso sem uréia	9,1	9,1	9,1	9,1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1	8,1	8,1	8,1
Uréia	0,2	0,2	0,2	0,2	0,18	0,18	0,18	0,18	-	-	-	-
Concentrado	0	0,8	1,5	3,0	0,0	0,6	1,2	2,3	0,3	0,6	1,2	2,3
Suplemento	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	0,6
Total	9,3	10,1	10,8	12,3	8,2	8,8	9,4	10,5	9,0	9,3	9,9	11,0
Consumo (kg PB.vaca⁻¹.dia⁻¹)												
Volumoso sem uréia	0,36	0,36	0,36	0,36	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Uréia	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47	-	-	-	-
Concentrado	0	0,07	0,13	0,27	0,0	0,29	0,59	1,18	0,12	0,24	0,48	0,97
Suplemento	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,39	0,39	0,39
Total	0,88	0,95	1,01	1,15	0,79	1,08	1,38	1,97	0,83	0,95	1,19	1,68
PB da dieta (% da MS total)	9,5	9,4	9,4	9,3	9,6	12,3	14,7	18,8	9,2	10,2	11,9	15,3
Concentrado (% da MS total)	3,8	11,4	17,1	27,2	4,0	10,6	16,3	25,0	10,0	12,9	18,2	26,4

¹Calculado com base na composição dos alimentos apresentados em tabelas. ²Experimento 1: cana-de-açúcar + 0,5% de ureia:sulfato de amônia 9:1; Exp. 2: cana-de-açúcar ou capim elefante + 0,5% de ureia:sulfato de amônia 9:1; Exp. 3: pastagem de capim-elefante do período da seca. ³Fubá de milho, farelo de soja e grão de soja moído, para os experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. ⁴Suplemento contendo farelo de trigo + ureia:sulfato de amônia 9:1 + sal mineral (50:25:25%).

concentrado foi de no máximo 27% da matéria seca total da dieta (Tabela 1), estimou-se o mesmo consumo de volumoso entre os tratamentos com base no consumo médio de volumoso observado no grupo de animais dentro do quadrado latino, nos experimentos 1 e 2; no caso do experimento 3, observou-se consumo de volumoso semelhante ao do experimento 2.

Segundo o NRC (2001), vacas com 500 kg de peso corporal e produção de leite de 10 kg dia⁻¹ necessitam de 13% de PB na dieta; os níveis de PB totais na dieta foram em média de 9,4% no experimento 1; 9,6 a 18,8% no experimento 2 e 9,2 a 15,3% no experimento 3 (Tabela 1). Portanto, nos experimentos 2 e 3 os níveis de PB variaram de 29 a 45% dos requerimentos nutricionais.

Observou-se que não houve efeito de nível de fubá de milho sobre o peso corporal nem na produção e composição do leite (Tabela 2), considerando que a resposta na produção de leite em virtude da suplementação concentrada, segue a saturação cinética típica de sistemas enzimáticos (Lana, 2009). Obteve-se o seguinte modelo de dupla recíproca de Lineweaver-Burk (1934): $1/\text{leite} = 0,0384 * (1/\text{Mi}) + 0,168$, $R^2 = 0,91$, que permite obter as constantes cinéticas K_{\max} (produção máxima teórica de leite) e K_s (quantidade de concentrado para causar metade de

Tabela 2. Peso corporal, produção e composição do leite em função do nível de suplementação concentrada (fubá de milho) de vacas leiteiras recebendo cana-de-açúcar corrigida em confinamento durante o período da seca

	Milho (kg vaca ⁻¹ dia ⁻¹)				EP
	0	0,85	1,7	3,4	
Peso corporal (kg)	552	517	536	542	15,7
Leite (kg.dia ⁻¹)	3,91	4,73	5,08	5,71	0,57
Gordura (%)	3,49	3,49	3,95	3,40	0,26
Proteína (%)	3,55	3,60	3,57	3,55	0,10
Lactose (%)	3,38	3,45	4,08	3,96	0,34
EST (%)	11,8	11,9	13,0	12,3	0,60
ESD(%)	8,28	8,39	9,04	8,85	0,41
CCS	1153	1200	902	1220	160
Eficiência ¹	-	0,97	0,41	0,37	-

EP = erro padrão da média; EST = extrato seco total; EST = extrato seco desengordurado; CCS = contagem de células somáticas ($\times 1.000 \text{ mL}^{-1}$). ¹Eficiência (kg de leite/kg de concentrado) = diferencial de produção de leite/diferencial de consumo de concentrado entre um nível de suplementação e o nível anterior.

K_{\max}). O K_{\max} (1/a) foi de 5,9 kg vaca⁻¹ dia⁻¹ e o K_s (b/a), de 0,23 kg de milho (Figura 1A e 1B).

A eficiência de utilização do concentrado foi de 0,97; 0,41 e 0,37 kg de leite kg⁻¹ de milho, ao passar de um nível mais baixo de suplemento para o próximo. Esses valores são decrescentes

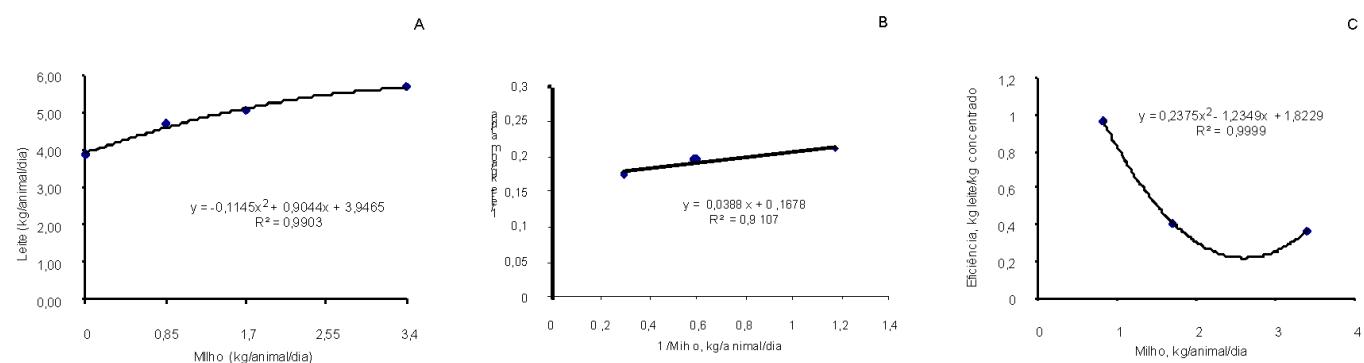


Figura 1. Produção de leite de acordo com o consumo de milho (A), recíproca da produção de leite em função da recíproca do consumo de milho (B) e eficiência de utilização de milho (C) em kg de leite kg⁻¹ de milho fornecido, comparado ao tratamento anterior

e estão de acordo com Oliveira et al. (2011), que afirmam que a resposta à suplementação pode ser calculada com base nas médias de produção de leite e do consumo de concentrado ou através dos modelos de saturação cinética (Figura 1 C).

Não houve efeito de tratamento na produção nem na composição do leite (Tabela 3), a média de produção de leite foi de 4,6 kg vaca⁻¹ dia⁻¹. Utilizando-se os dados médios de produção de leite com base nos níveis de farelo de soja, obteve-se a equação: $1/\text{leite} = 0,0181*(1/\text{FS}) + 0,1956$, $r^2 = 0,99$. A produção máxima teórica de leite (K_{\max}) foi de 5,1 kg vaca⁻¹ dia⁻¹ e a quantidade de concentrado para se conseguir a metade da produção máxima de leite (K_s) foi de 0,09 kg de farelo de soja (Figuras 2A e 2B).

Tabela 3. Peso corporal, produção e composição do leite de acordo com o nível de suplementação concentrada (farelo de soja) de vacas leiteiras em confinamento durante o período da seca, alimentadas com cana-de-açúcar ou capim-elefante corrigidos com 0,5% de ureia

	Farelo de soja (kg vaca ⁻¹ dia ⁻¹)				EP
	0	0,65	1,3	2,6	
Peso corporal (kg)	565	597	545	539	26,8
Leite (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	3,96	4,48	4,75	4,95	0,31
Gordura (%)	4,03	4,80	4,27	4,50	0,16
Proteína (%)	3,93	4,19	4,06	3,83	0,11
Lactose (%)	3,91	3,87	3,96	3,96	0,08
EST (%)	13,2	14,1	13,6	13,6	0,18
ESD(%)	9,13	9,31	9,32	9,06	0,24
CCS	1475	2206	989	1273	275
Eficiência ¹	-	0,79	0,42	0,15	-

EP = erro-padrão da média; EST = extrato seco total; ESD = extrato seco desengordurado; CCS = contagem de células somáticas ($\times 1.000 \text{ mL}^{-1}$). ¹Eficiência (kg de leite kg⁻¹ de concentrado) = diferencial de produção de leite/diferencial de consumo de concentrado entre um nível de suplementação e o nível anterior.

As respostas em leite pelo uso da suplementação proteica foram de 0,79; 0,42 e 0,15 kg de leite kg⁻¹ de farelo de soja ao passar de 0,0 para 0,65; de 0,65 para 1,30 e de 1,30 para 2,60 kg de farelo de soja vaca⁻¹ dia⁻¹. Esses valores foram próximos aos obtidos para fubá de milho, conforme apresentado anteriormente e estão de acordo com Bargo et al. (2003), que reportam aumento decrescente na produção de leite em razão do aumento no consumo de concentrado (Figura 2C).

De forma semelhante, em experimento realizado por Deresz et al. (2003) a suplementação com concentrado de vacas mestiças holandês-zebu mantidas em pastagem de capim-elefante mostrou pequena resposta na produção de leite, isto é, menos de 0,5 kg de leite para cada 1,0 kg de concentrado fornecido. Já Pereira et al. (2009) avaliaram o efeito da adição de 3,0 kg de concentrado com diferentes teores de PB para

vacas em lactação sob pastejo rotacionado de capim-elefante e também não observaram efeito do nível de PB do concentrado sobre a produção de leite (17,5; 17,2 e 17,6 kg de leite dia⁻¹ para os teores de 15,2; 18,2 ou 21,1% de PB no concentrado, respectivamente).

Oliveira et al. (2010) encontraram, ao utilizar o conceito de análise marginal para estimar o nível ótimo de suplementação com alimentos concentrados para vacas de leite em pastagens utilizando dados de 31 trabalhos sobre a avaliação da produção de leite de vacas em sistemas de pastos tropicais, produção média de 10,5 kg vaca⁻¹ dia⁻¹ em dietas exclusivas com pastos tropicais e resposta curvilínea ($P < 0,05$) da produção de leite em função do consumo de suplemento, estando os dados de acordo com o presente trabalho.

A relação da resposta produtiva com consumo de suplementos segue o mesmo comportamento curvilíneo dos sistemas enzimáticos ao fornecimento de substratos. Considerando as enzimas unidades fundamentais do metabolismo celular infere-se que com o aumento do fornecimento de nutrientes há decréscimo na resposta até atingir o platô (Oliveira et al., 2012). A resposta, portanto, constitui característica biológica e está presente de forma generalizada nos sistemas microbiológicos e macrobiológicos vegetal e animal (Lana et al., 2005; Lana, 2008; Guimarães et al., 2011; Oliveira et al., 2011, 2012), embora respostas lineares possam ocorrer em alguns casos (Goes et al., 2009; Oliveira et al., 2011) devido à falta de tratamentos controle (sem suplementação), o tratamento mais elevado não ter atingido o platô de saturação ou ao elevado coeficiente de variação dos dados. Assim, o metabolismo observado nas enzimas explica muitas respostas biológicas encontradas no campo podendo ser utilizado para determinar o nível ótimo de concentrado, através da avaliação de eficiência tanto em termos nutricionais como em termos econômicos.

Na Tabela 4 são apresentados o peso corporal, a produção e composição de leite de acordo com o nível de suplementação com grão de soja moido. Pela análise desta tabela verifica-se que não houve efeito de tratamento, mas as médias de produção de leite se ajustaram ao seguinte modelo: $1/\text{leite} = 0,014*(1/\text{GS}) + 0,1165$, $r^2 = 0,98$.

A produção máxima teórica de leite (K_{\max}) foi de 8,6 kg vaca⁻¹ dia⁻¹, sendo a quantidade de concentrado para causar metade de K_{\max} (K_s) de 0,12 kg de grão de soja. As eficiências foram de -0,56; 0,81 e 0,37 kg de leite por kg de grão de soja ao passar de um nível mais baixo de suplemento para o próximo nível mais

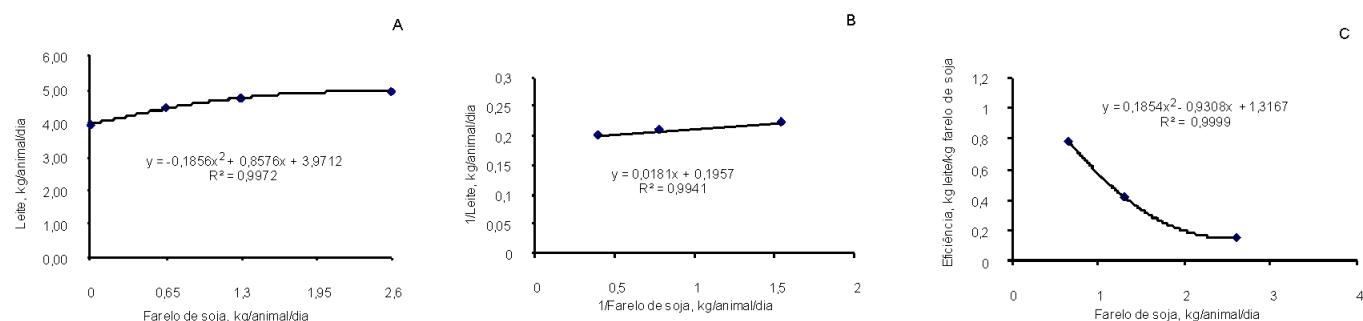


Figura 2. Produção de leite de acordo com o consumo de farelo de soja (A), recíproca da produção de leite em função da reciprocada do consumo de farelo de soja (B) e eficiência de utilização de farelo de soja (C) em quilogramas de leite por kg de farelo de soja fornecido comparado ao tratamento anterior

Tabela 4. Peso corporal, produção e composição do leite em função do nível de suplementação concentrada (grão de soja moido) de vacas leiteiras em pastagem de capim-elefante durante o período da seca

	Grão de soja moido (kg vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	EP			
	0,32	0,64	1,3	2,6	EP
Peso corporal (kg)	445	451	453	446	3,63
Leite (kg.vaca ⁻¹ .dia ⁻¹)	7,42	7,25	7,78	8,26	0,76
Gordura (%)	3,18	3,48	3,16	3,77	0,22
Proteína (%)	3,11	3,09	3,10	3,14	0,10
Lactose (%)	4,44	4,47	4,50	4,43	0,09
EST (%)	11,6	12,0	11,8	12,3	0,20
ESD (%)	8,44	8,52	8,61	8,54	0,11
CCS	1193	951	705	446	384
Eficiência ¹	-	-0,53	0,80	0,37	-

EP = erro-padrão da média; EST = extrato seco total; ESD = extrato seco desengordurado; CCS = contagem de células somáticas ($\times 1.000 \text{ mL}^{-1}$). ¹Eficiência (kg de leite kg de concentrado⁻¹) = diferencial de produção de leite/diferencial de consumo de concentrado entre um nível de suplementação e o nível anterior.

elevado. Apesar de verificar variação negativa na eficiência de produção de leite no primeiro nível de suplementação, a eficiência de utilização do grão de soja moido se comporta de maneira similar à dos outros concentrados.

Não houve efeito significativo do nível de concentrado sobre a produção de leite de vacas em nenhum dos três experimentos. Outros trabalhos também não mostraram este efeito, quando o nível de produção estava em torno de 10 kg dia⁻¹ (Vilela et al., 1980; Teixeira et al., 2011). É necessário, portanto, a condução de pesquisas com vacas que produzam em torno de 10 kg de leite dia⁻¹, pois esta produção é representativa do rebanho leiteiro nacional e há carência de pesquisa com este tipo de animal para atender à demanda dos produtores rurais.

Apesar da falta de significância estatística, a resposta marginal em produção de leite reduziu com o aumento da suplementação, estando de acordo com Lana (2009), que afirma que este tipo de resultado é também verificado no ganho de peso de animais em crescimento, crescimento de plantas e crescimento microbiano, em função do nível crescente de suprimento de nutrientes. O nível diário de concentrado em que a produção extra de leite remunera a quantidade extra de concentrado (relação custo-benefício zero) foi de 0,95; 0,60 e 0,90 kg para o fubá de milho, farelo de soja e grão de soja moido, respectivamente.

Respostas decrescentes aos nutrientes foram originalmente observadas por Mitscherlich em 1909, postulando a lei dos rendimentos decrescentes. Em 1913, Michaelis e Menten descreveram este tipo de resposta em sistemas enzimáticos empregando um modelo de cinética de saturação. Em 1934, Lineweaver e Burk desenvolveram o modelo de dupla recíproca para calcular as constantes cinéticas K_s e K_{max} do modelo de Michaelis e Menten. Em 1949, Monod usou modelo semelhante ao de Michaelis e Menten para descrever a taxa de crescimento microbiano (Oliveira et al., 2011).

Os sistemas de energia líquida do NRC de gado de leite (NRC, 2001) e energia metabolizável (Fox et al., 2004) para gado de leite e os de proteína metabolizáveis do NRC (2001) e CNCPS (Fox et al., 2004) não permitem explicar a resposta curvilínea na produção de leite em vacas que receberam níveis crescentes de concentrado, mostrando, em contraposição, uma relação linear. Uma vez que a resposta curvilínea ao concentrado é mais intensa, quanto menor o valor nutritivo do volumoso, típico das gramíneas tropicais no período da seca,

maior é a necessidade de se desenvolverem pesquisas e um sistema de alimentação de bovinos mais condizente com as condições tropicais.

Conclusão

As respostas em produção de leite são curvilíneas (hiperbólicas), reduzindo-se com o aumento da suplementação, sendo ajustadas por modelos de saturação cinética, diferentes do NRC 2001 e do Sistema Cornell, que consideram resposta linear crescente para o suprimento, tanto de energia quanto de proteína.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro a este estudo.

Literatura Citada

- Alvim, M. J.; Vilela, D.; Lopes, R. S. Efeitos de dois níveis de concentrado sobre a produção de leite de vacas da raça Holandesa em pastagem de Coast-cross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers). Revista Brasileira de Zootecnia, v.26, n.5, p.967-975, 1997. <<http://www.revistasbz.org.br/scripts/revista/sbz1/Resumo.asp?NumArtigo=139>>. 29 Nov. 2012.
- Barbosa, N. G. S.; Lana, R. P.; Jham, G. N.; Borges, A. C.; Mâncio, A. B.; Pereira, J. C.; Oliveira, J. S. Consumo e fermentação ruminal de proteínas em função de suplementação alimentar energética e protéica de novilhos. Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, n.5, p.1558-1565, 2001. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982001000600025>>.
- Bargo, F.; Muller, L. D.; Kolver, E. S.; Delahoy, J. E. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. Journal of Dairy Science, v.86, p.1-42, 2003. <[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)>.
- 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.
- Deresz, A. F.; Matos, L. L.; Mozzer, O. L.; Martins, C. E.; Aroeira, L. J. M.; Verneque, R. S.; Coser, A. C. Produção de leite de vacas mestiças Holandês x Zebu em pastagem de capim-elefante, com e sem suplementação de concentrado durante a época das chuvas. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.55, n.3, p.334-340, 2003. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352003000300013>>.
- Deresz, F.; Matos, L. L. Influência do período de descanso da pastagem de capim-elefante na produção de leite de vacas mestiças holandês x zebu. Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, n.2, p.461-469, 2001. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982001000200024>>.
- Fox, D. G.; Tedeschi, L. O.; Tylutki, T. P.; Russell, J. B.; van Amburgh, M. E.; Chase, L. E.; Pell, A. N.; Overton, T. R. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. Animal Feed Science and Technology, v.112, n.1-4, p.29-78, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.006>>.

- Goes, R. H. T. B.; Mancio, A. B.; Alves, D. D. Desempenho de novilhos mantidos em pastagens submetidos à suplementação protéica e protéica-energética, durante a época seca. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.10, n.4, p.907-916, 2009. <<http://revistas.ufba.br/index.php/rbspa/article/view/1811/918>>. 29 Nov. 2012.
- Guimarães, G.; Lana, R. P.; Souza, M. R. M. Recomendação de fertilizantes com base na lei do retorno decrescente. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.1, n.1, p.52-58, 2011. <<http://www.rbas.com.br/artigos.php?id=3>>. 29 Nov. 2012.
- Lana, R. P. Plants responses to nutrients follow the saturation kinetics typical of enzyme systems: Biological, economical and environmental implications. *Online Journal of Biological Sciences*, v.8, n.1, p.19-24, 2008. <<http://dx.doi.org/10.3844/ojbsci.2008.19.24>>.
- Lana, R. P. Uso racional de recursos naturais não-renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38,n. special, p.330-340, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300033>>.
- Lana, R. P.; Abreu, D. C.; Castro, P. F. C. B. de; Teixeira, R. M. A.; Zamperline, B.; Souza, B. S. B. C. de. Produção de leite por vacas mestiças em função da suplementação com concentrados energéticos e/ou protéicos a pasto ou confinadas. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.1, n.1, p.140-145, 2011. <http://www.rbas.com.br/pdf/revista_3_artigo_67.pdf>. 29 Nov. 2012.
- Lana, R. P.; Goes, R. H. T. B.; Moreira, L. M.; Mâncio, A. B.; Fonseca, D. M.; Tedeschi, L. O. Application of Lineweaver-Burk data transformation to explain animal and plant performance as a function of nutrient supply. *Livestock Production Science*, v.98, n.3, p.219-224, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.03.008>>.
- Lineweaver, H.; Burk, D. The determination of enzyme dissociation constants. *Journal of the American Chemical Society*, v.56, n.1, p.658-666, 1934. <<http://dx.doi.org/10.1021/ja01318a036>>.
- Mitscherlich, E. A. Das gesetz des minimuns und das gesetz des abnehmenden bodenertrages. *Landwirtschaftliches Jahrbücher*, v.38, p.537-552, 1909.
- Nutrient requirements of dairy cattle - NRC. 7.ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
- Oliveira, A. S.; Abreu, D. C.; Campos, J. M. S.; Moraes, E. H. B. K. de. Estratégias de suplementação para recria econômica de novilhas em pastagens. In: Gonçalves, L. C.; Jayme, D. G.; Borges, A. L. C. Cruz; Borges, I.; Ferreira, P. D. S.; Pires Neto, O. de S.; Cruz, D. S. G. (Orgs.). VI Simpósio Mineiro e I Simpósio Nacional Sobre Nutrição de Gado de Leite. 1ed. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2012. p.158-181.
- Oliveira, A. S.; Campos, J. M. S.; Lana, R. P.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C. Estimate of the optimal level of concentrates for dairy cows on tropical pastures by using the concept of marginal analysis. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.9, p.2040-2047, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000900024>>.
- Oliveira, T. S.; Lana, R. P.; Guimarães, G. Crescimento animal e produção de leite em função do suprimento de nutrientes seguem o modelo de saturação cinética de Michaelis-Menten. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.1, n.2, p.78-84, 2011. <http://www.rbas.com.br/pdf/revista_2_artigo_42.pdf>. 29 Nov. 2012.
- Pereira, F. R.; Saturnino, H. M.; Saliba, E. O. S.; Gonçalves, L. C.; Reis, R. B.; Miranda, P. A. B.; Mourão, R. C.; Silvestre, D. T.; Caldeira, P. N. S. Teores de proteína para vacas lactantes em pastejo de capim-elefante. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.61, n.5, p.1139-1147, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352009000500017>>.
- Statistical Analysis System - SAS. System for linear models. Cary: SAS Institute, 1991. 329p.
- Teixeira, R. M. A.; Lana, R. P.; Fernandes, O. L.; Oliveira, A. S.; Campos, J. M. S.; Pimentel, J. J. O. Concentrate and crude protein levels in diets for dairy Gyr lineage cows grazing elephant-grass during the rainy season. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, n.6, p.1347-1355, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000600025>>.
- Teixeira, R. M. A.; Lana, R. P.; Fernandes, O. L.; Oliveira, A. S.; Queiroz, A. C.; Pimentel, J. J. O. Desempenho produtivo de vacas da raça Gir Leiteira em confinamento alimentadas com níveis de concentrado e proteína bruta nas dietas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.11, p.2527-2534, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001100028>>.
- Vilela, D.; Alvim, M. J.; Lopes, R. S. Efeito da suplementação concentrada sobre o consumo de nutrientes e a produção de leite, por vacas em pastagem de capim gordura (*Melinis minutiflora*, Beauv.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.9, n.2, p.214-232, 1980.