

RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES COM BASE NA LEI DO RETORNO DECRESCENTE¹

Geicimara Guimarães², Rogério de Paula Lana³, Maria Regina de Miranda Souza⁴, Bruno Pietsch Cunha Mendonça⁵, Elton Eduardo Novais Alves⁶

RESUMO – Objetivou-se com o trabalho demonstrar a viabilidade de se fazer recomendações de fertilizantes para as culturas de milho e feijão com base em modelos de saturação cinética, seguindo a lei do retorno decrescente, com vistas a melhorar a eficiência de uso, reduzir os custos de produção e evitar o uso excessivo dos recursos naturais não renováveis. Na cultura de milho (híbrido granífero) foram utilizados níveis de 0,0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 e 32 g/cova do fertilizante composto de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) representado pelas doses 4-14-8, respectivamente, no plantio e mesmas quantidades de sulfato de amônio, 34 dias após o plantio. O espaçamento foi de 20 x 70 cm, com um grão por cova (71.429 plantas/hectare), com oito repetições para cada nível, totalizando 72 plantas na área experimental. Na cultura de feijão (variedade vermelha) foram utilizados níveis de 0,0; 0,25; 0,50; 1; 2; 4; 8; 16 e 32 g/cova de NPK com formulação 4-14-8. O espaçamento foi de 20 x 50 cm, com dois grãos por cova (71.429 plantas/hectare), com oito covas para cada nível, totalizando 144 plantas na área experimental. Os modelos de saturação cinética de Lineweaver-Burk apresentaram bons ajustes para a resposta do milho e feijão à fertilização, seguindo a lei dos retornos decrescentes, em que 4 a 8 g de fertilizante por cova permitiram obter boa parte da resposta produtiva do milho e a margem de 2 a 4 gramas no caso do feijão. O emprego de nível moderado de fertilização proporciona uma agricultura mais sustentável e economicamente viável ao agricultor familiar.

Palavras-chave: Agricultura familiar, feijão, fertilizante, milho, produção, sustentabilidade.

RECOMMENDATION OF FERTILIZERS BASED ON THE LAW OF DIMINISHING RETURN

ABSTRACT – The objective of this work was to demonstrate the viability of making recommendation of fertilizers for corn and bean cultures based on models of saturation kinetics, following the Law of diminishing return, aiming to improve the efficiency of nutrient use, reducing the costs of production and avoiding the excessive use of non renewable natural resources. In the corn culture (grain hybrid) they were utilized levels of 0.0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 and 32 g/hole of fertilizer NPK 4-14-8 in seeding and same amounts of ammonium sulfate 34 days later. The space between plants was of 20 x 70 cm (71.429 plants/hectare), with eight replicates per each level, totalizing 72 plants in the experimental area. In bean culture (red variety) they were utilized levels of 0.0, 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16 and 32 g/hole of NPK 4-14-8 in planting. The space between plants was of 20 x 50 cm, with two grains per hole (71.429 plants/hectare), with eight holes per each level, totalizing 144 plants in the experimental area. The models of saturation kinetics of Lineweaver-Burk presented good adjustments for responses of corn and beans to fertilization, following the Law of diminishing return, in which 4 to 8 g of fertilizer per hole caused good part of the productive response for corn and 2 grams for bean. The employee of moderate level of fertilization leads to a more sustainable and economically viable agriculture to the household producer.

Keywords: Bean, corn, household agriculture, fertilizer, production, sustainability

¹ Pesquisa financiada pelo CNPq

² Estudante de graduação em Gestão de Cooperativas - DER / UFV; Bolsista do CNPq; geicimara.guimaraes@ufv.br

³ Professor do Departamento de Zootecnia/UFV; Pesquisador 1B do CNPq; rlana@ufv.br

⁴ Pesquisadora da Epamig - Viçosa/MG; Bolsista da Fapemig; mmiranda@epamig.ufv.br

⁵ Doutorando do Departamento de Zootecnia/UFV - brunopcm@hotmail.com

⁶ Estudante de graduação em Agronomia - UFV; Bolsista do CNPq; elton.alves@ufv.br



1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de alimentos tem grande participação da agricultura familiar, que é mais sustentável, menos prejudicial ao meio ambiente e permite geração de grande número de empregos no campo. Consequentemente, há diminuição do desemprego e marginalidade em cidades de pequeno e médio porte, que vivem da agricultura (Lana, 2007).

A agricultura familiar, constituída por pequenos e médios produtores, representa a imensa maioria de produtores rurais no Brasil. São cerca de 4,5 milhões de estabelecimentos, dos quais 50% no Nordeste. O segmento detém 20% das terras e responde por 30% da produção global. Em alguns produtos básicos da dieta do brasileiro como feijão, arroz, milho, hortaliças, mandioca e pequenos animais, a agricultura familiar chega a ser responsável por 60% da produção. Em geral, são agricultores com baixo nível de escolaridade e diversificam os produtos cultivados para diluir custos, aumentar a renda e aproveitar as oportunidades de oferta ambiental e disponibilidade de mão-de-obra (Portugal, 2004).

A agricultura familiar tem sido caracterizada como sendo de baixa adoção de tecnologias e de insumos e com baixas produtividades, sendo muitas vezes discriminada e considerada agricultura do passado e em fase de extinção, com a consolidação da agricultura de alta tecnologia. O entendimento dos modelos de saturação cinética para explicar as respostas biológicas aos nutrientes vem reforçar a sustentabilidade e viabilidade da agricultura familiar na produção de alimentos em uma nova era de escassez de recursos naturais não renováveis nas décadas vindouras (Lana, 2007).

O Brasil tem pouca reserva de potássio, o que torna o país quase totalmente dependente das importações. Existem reservas com problemas de restrições ambientais e de logística que tiram a competitividade da produção doméstica. Dentre os principais nutrientes, o potássio é aquele de maior restrição futura no Brasil. Somente o aumento no consumo de fertilizantes na China e na Índia nos últimos três anos equivaleu a 1,5 vezes o consumo brasileiro em 2006. Esses dois países subsidiam os preços dos fertilizantes ao produtor, o que faz com que, independentemente dos preços internacionais dos produtos agrícolas, o consumo de adubo na China e Índia seja insensível à alta nos preços dos fertilizantes (MBAgro, 2007).

Então cada vez mais se faz necessário o conhecimento sobre a eficiência de utilização de fertilizantes na agricultura, que no futuro servirá como ferramenta nas decisões políticas sobre o uso racional dos recursos naturais não renováveis. As fontes de fertilizantes naturais têm de ser usadas com a máxima eficiência e com o mínimo de efeitos negativos no meio ambiente. A fertilização representa em torno de 42% dos custos da produção e o aumento marginal no crescimento da planta é reduzido pelo aumento da fertilização, que leva à poluição do solo, da água e ao desperdício de recursos naturais não renováveis (Lana, 2007c).

O milho é a cultura que ocupa a maior área cultivada no Brasil. O rendimento médio é, entretanto, baixo, embora tenha mostrado nos últimos 10 anos tendência para crescer. O maior produtor de milho no mundo, os Estados Unidos, numa área hoje de 29 milhões de ha, manteve no período 1973-84 a produtividade média de 5961 kg/ha, enquanto o rendimento médio brasileiro foi de 1570 quilos, sendo 3,75 vezes menor. Um produtor de milho norte-americano detém o recorde mundial de produtividade em cultura não irrigada: 22 ton/ha. Vários produtores brasileiros têm batido recordes de rendimento, em vários estados do país, com produções da ordem de 15 ton/ha (Malavolta, 1987).

Em Minas Gerais, o milho é cultivado pela agricultura familiar como sistema produtivo com investimento financeiro menor e predominam lavouras menores que 10 ha. Geralmente, ocupa manchas de solo com boa fertilidade natural, o preparo do solo é realizado com tração mecânica ou animal, como uma aração e duas gradagens e a densidade e população de plantas são baixas. O agricultor familiar depende da produção de alimentos como fonte de renda, mas muitas vezes acaba cedendo preços baixos ao mercado, por ser sua única fonte de renda e necessitarem da renda mensal com a venda dos alimentos.

No Brasil são cultivados dois feijões em maior escala: o feijão comum (carioca, preto e vermelho), *Phaseolus vulgaris*, e o feijão de corda ou macassar, *Vigna sinensis*. O último é mais cultivado no Norte e no Nordeste. Embora o feijão seja a principal fonte de proteína vegetal para o brasileiro, é uma cultura pouco estudada cientificamente em relação à resposta à adubação e calagem. Os poucos dados disponíveis, entretanto, são suficientes para mostrar que o feijoeiro apresenta boa resposta à adubação (Malavolta, 1987).

A cultura do feijoeiro é sensível a altas e baixas temperaturas, que podem ocasionar aborto de flores,

vagens e grãos, com conseqüente queda de rendimento e desenvolvimento da planta. A semente de boa qualidade não é despesa para o agricultor, é sim investimento, mas o fertilizante possui um valor maior na produção, aumentando o custo e, além disto, causa redução dos recursos naturais e degradação do solo para novo plantio. Por isto é necessário o plantio com o uso eficiente de adubos para atingir a produtividade e reduzir o custo de produção.

Nesse sentido, objetivou-se com o trabalho demonstrar a viabilidade de se fazer recomendações de fertilizantes em propriedades de agricultura familiar, baseadas em modelos de saturação cinética, seguindo a lei do retorno decrescente, com vistas a melhorar a eficiência de uso, reduzir os custos de produção do milho e feijão e evitar o uso excessivo dos recursos naturais não renováveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O plantio do milho e feijão foi realizado em março, em Viçosa-MG, e houve baixa incidência de chuvas no período.

No plantio do milho foram utilizados níveis crescentes do fertilizante 4-14-8 (NPK) e mesmas quantidades de sulfato de amônio, 34 dias após o plantio. Os níveis de fertilizantes foram de 0,0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 e 32 g/cova. Foi utilizado um grão de milho por cova, em espaçamento de 20 cm entre covas dentro da linha e 70 cm entre linhas, proporcionando uma densidade populacional de 71.429 plantas/hectare, semelhante às densidades populacionais em plantios comerciais mecanizados. Foram utilizadas oito repetições para cada nível, totalizando 72 plantas na área experimental. Foi feita a amostragem do solo na profundidade de 0 a 20 cm, segundo Gomes et al. (1999), para realização da análise química.

As medidas de volume da planta foram consideradas ser 2/3 da área da base pela altura da planta, que é a média da área do cone e do cilindro (1/3 e 3/3 da área da base pela altura, respectivamente), uma vez que o colmo da planta do milho é um meio termo entre um cone e um cilindro.

No plantio de feijão foram utilizados níveis crescentes do fertilizante NPK 4-14-8 (0,0; 0,25; 0,50; 1; 2; 4; 8; 16 e 32 g/cova). Foram utilizados dois grãos de feijão por cova em espaçamento de 20 cm entre covas e 50 cm entre linhas, proporcionando uma densidade

populacional de 71.429 plantas/hectare, semelhante às densidades populacionais em plantios comerciais mecanizados. Foram utilizadas oito covas com duas plantas por cova para cada nível, totalizando 144 plantas na área experimental.

Os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado e, quando houve efeito de tratamento, utilizou-se o modelo de saturação cinética de Lineweaver-Burk para avaliar as respostas da planta de milho (altura, crescimento e diâmetro da planta aos 62 dias de idade) e da planta de feijão (altura aos 21 e 34 dias pós-plantio) ao nível variável de fertilizantes, segundo Lana et al. (2005) e Lana (2007b e 2008). O modelo consiste em análises de regressões lineares das recíprocas das respostas da planta em função das recíprocas dos suprimentos de nutrientes. O modelo é o seguinte: $1/Y = a + b * (1/X)$, onde:

Y = respostas das plantas; a = intercepto; b = coeficiente da regressão linear;

X = quantidade de fertilizante (g do adubo NPK 4-14-8 no plantio e mesmas dosagens de sulfato de amônio aos 34 dias pós-plantio no caso do milho).

O desempenho máximo teórico é obtido pela recíproca do intercepto ($RESP_{max} = 1/a$). A quantidade de nutriente (x) necessária para atingir 50 ($NUTR_{50\%RESP_{max}}$), 60, 70, 80, 90 e 95% da resposta máxima teórica são obtidas do modelo apresentado acima, substituindo Y por $1/a * \text{porcentagem de resposta}$. A quantidade de nutriente necessária para atingir metade da resposta máxima teórica ($NUTR_{50\%RESP_{max}}$) pode ser também obtida, dividindo o coeficiente da regressão linear pelo intercepto (b/a).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as características químicas obtidas pela análise de rotina do solo, na profundidade de 0 a 20 cm. O solo utilizado possui baixos valores de H + Al e Al³⁺, pois estes índices quando altos são tóxicos para as plantas; pelo valor do pH, considerado como alto; e pelo valor da soma de bases trocáveis, que está ocupando toda a CTC.

O crescimento da planta de milho potencializado pela fertilização foi evidenciado aos 62 dias pós-plantio (Figuras 1 e 2). Os modelos de saturação cinética de Lineweaver-Burk apresentaram bons ajustes (Figura 3) e permitiram explicar satisfatoriamente os valores de desempenho observados (Figura 2).



Tabela 1 - Análise de solo, na profundidade de 0 a 20 cm, após o cultivo do milho e feijão

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m
H ₂ O	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³					%
6,8	8,0	61	3,6	0,6	0,0	0,00	4,36	4,36	4,36	100	0

pH em água – relação 1:2,5; P e K – extrator Mehlich; Ca, Mg e Al – extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al – extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB – soma de bases trocáveis; t – CTC efetiva; T – CTC a pH 7; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de Al

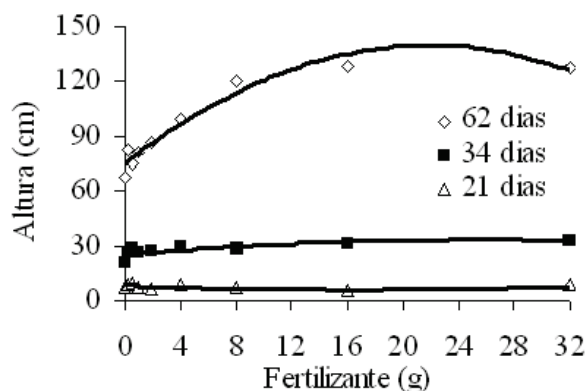


Figura 1 - Resposta do milho a níveis variáveis do adubo NPK (4-14-8) no plantio e mesmas dosagens de sulfato de amônio aos 34 dias pós-plantio.

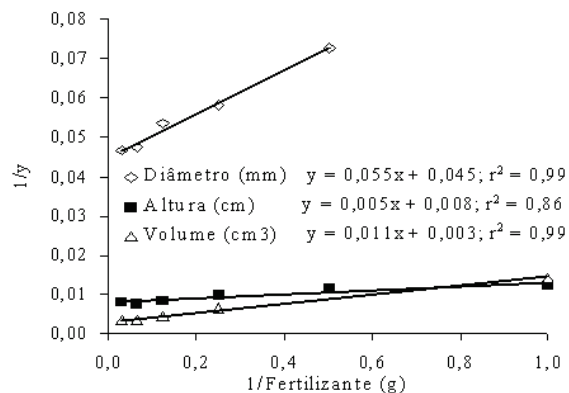


Figura 3 - Recíproca das medidas de diâmetro, altura e volume da planta de milho aos 62 dias pós-plantio em função da recíproca do nível de adubação (NPK 4-14-8 no plantio e mesmas dosagens de sulfato de amônio aos 34 dias pós-plantio).

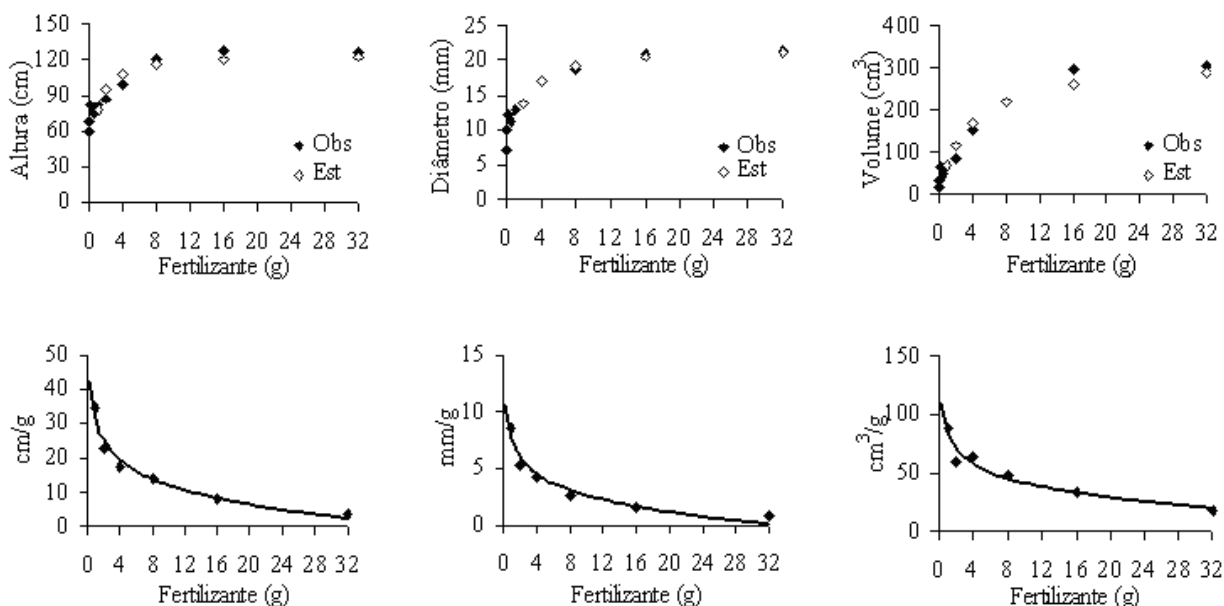


Figura 2 - Resposta do milho aos 62 dias a níveis variáveis do adubo NPK (4-14-8) no plantio e mesmas dosagens de sulfato de amônio aos 34 dias pós-plantio. As figuras superiores representam os valores observados e estimados por modelos de saturação cinética (Figura 3), e as figuras inferiores representam o rendimento marginal decrescente.

A resposta do milho à fertilização seguiu a lei dos retornos decrescentes, em que 4 a 8 g de fertilizante por cova permitiram obter boa parte da resposta produtiva, com alta eficiência de uso dos nutrientes (Figura 2). As medidas de diâmetro e altura apresentaram relação linear (Figura 4), sendo ambos influenciados pelos níveis de fertilização (Figura 2).

Os fertilizantes têm sido recomendados com base na análise do solo e exigências nutricionais das plantas, com vistas ao máximo desempenho produtivo. Entretanto, com a possível escassez dos fertilizantes, que são recursos naturais não renováveis, em um futuro próximo, há necessidade de se utilizar alternativas para melhorar a eficiência de uso destes recursos, diminuir a dependência e conservar as reservas restantes para as gerações futuras (Lana, 2009).

Os modelos de saturação cinética proporcionam recomendações de fertilizantes mais moderadas que os modelos linear-platô e regressão quadrática, comumente utilizados. Apesar de recomendações de fertilizantes abaixo das dosagens para as respostas máximas produtivas causarem sintomas de deficiências nutricionais e falta de uniformidade de desenvolvimento das plantas, estas proporcionam maior relação benefício-custo e melhor aproveitamento dos fertilizantes, que são de interesse da agricultura familiar (Lana, 2007c).

Os resultados apresentados nas Figuras 1 a 3 demonstram que as maiores respostas das plantas de milho aos fertilizantes ocorrem nas menores dosagens, indicando que devemos seguir estas recomendações para evitar colapso na exploração dos fertilizantes e consequentemente no abastecimento de alimentos para

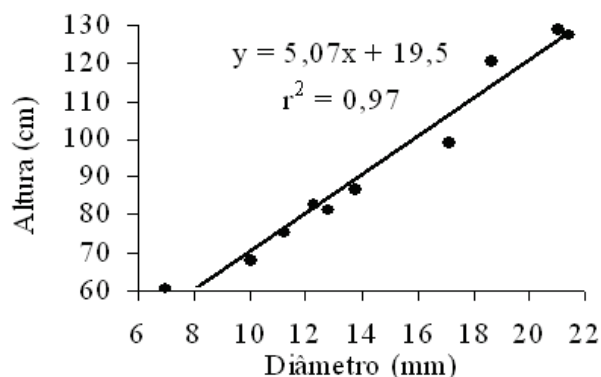


Figura 4 - Altura da planta de milho em função do diâmetro aos 62 dias pós-plantio.

a humanidade, uma vez que um mínimo de fertilizante é necessário para potencializar a resposta produtiva das plantas.

A resposta do feijão em termos de crescimento das plantas ao baixo nível de fertilizante se evidenciou aos 34 dias pós-plantio, seguindo a lei dos rendimentos decrescentes de Michaelis-Menten (Figura 5A). Este fato foi comprovado na Figura 5B, em que o modelo de saturação enzimática de dupla recíproca se ajustou melhor aos 34 dias. Estes resultados estão em conformidade com Lana et al. (2005), que propôs o uso de modelos de saturação cinética de Lineweaver-Burk para avaliar as respostas das plantas e animais ao nível variável de nutrientes, permitindo-se calcular as constantes cinéticas K_{max} e K_s do modelo de Michaelis-Menten que representam, respectivamente, o desempenho máximo teórico e a quantidade de nutriente necessária para atingir 50% de K_{max} .

Os dados estimados pelo modelo apresentado na Figura 5B para os 34 dias pós-plantio do feijão mostram bom ajuste aos dados observados até 16 g de fertilizante por cova (Figura 5C). A Figura 5D mostra a quantidade de fertilizante estimada para se atingir de 50 a 100% da resposta máxima produtiva. Fica evidenciado mais uma vez que as maiores respostas ao nível variável de fertilizantes acontecem com baixo nível de fertilização, onde 2 gramas de fertilizante por cova (6,25% das 32 gramas por cova, que foi o maior nível utilizado) foi o suficiente para se obter mais de 90% da resposta máxima produtiva.

Esta verificação pode ser confirmada ao se avaliar a produção de grãos (Figura 6). Neste caso, pode-se notar a importância da fertilização no estímulo da produção, devido à consequência direta sobre a nutrição e indireta sobre a viabilidade da planta, em que houve elevado nível de falhas nos níveis próximos de zero, associado ao plantio em um período de baixa intensidade de chuvas. Por outro lado, níveis de fertilizantes acima de 2 gramas/cova pouco trouxe de benefício em termos de produtividade. Estes extremos mostram que há necessidade do uso racional dos fertilizantes, pois os mesmos são indispensáveis na produção agrícola, mas as reservas mundiais podem se exaurir em um futuro próximo, se não houver um planejamento de uso estratégico em doses “homeopáticas” (Lana, 2007c).

De acordo com a MBAgro (2007), existe uma dependência externa de fertilizantes pela agricultura



brasileira, sendo que os dados das Figuras 1, 5 e 6 demonstram que podemos manter bons índices de produtividade de milho e feijão com baixo nível de fertilização e com alta eficiência de uso de fertilizantes.

Com isto, há diminuição da dependência externa de fertilizantes e redução dos custos de produção, haja vista que a fertilização corresponde a 30 a 60% dos custos totais.

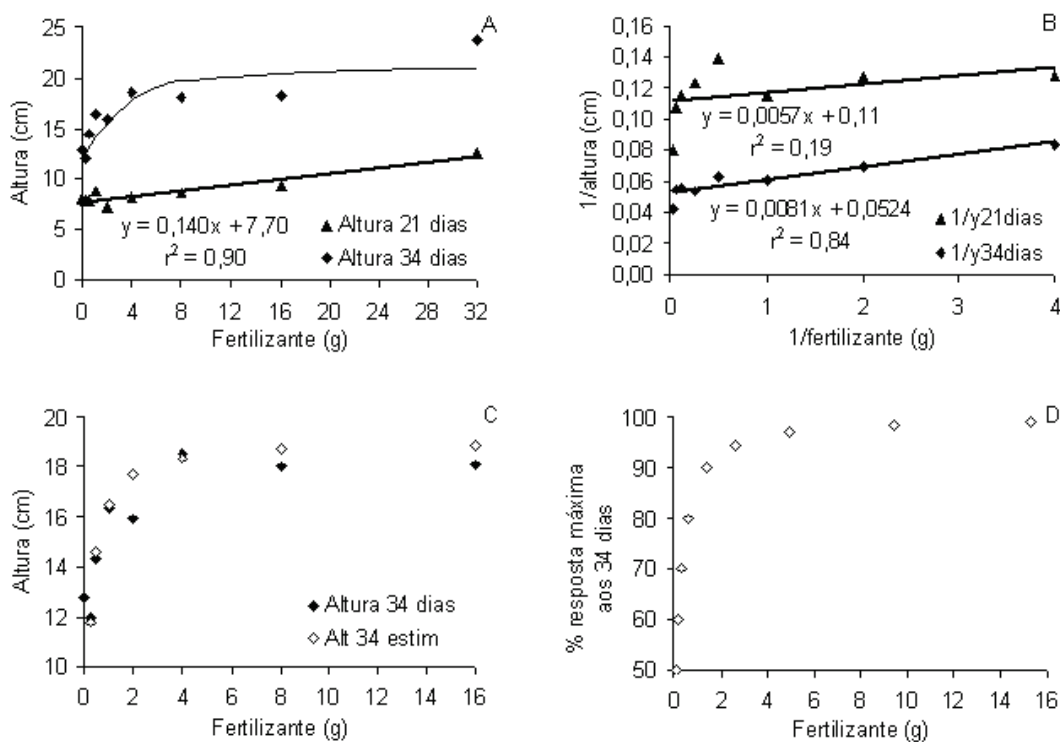


Figura 5 - Resposta do feijão ao nível variável do adubo NPK (4-14-8) no plantio (A), recíproca da altura em função da recíproca do nível de fertilizante (B), valores observados versus estimados em B (C) e % da resposta máxima em função do nível de fertilizante (D).

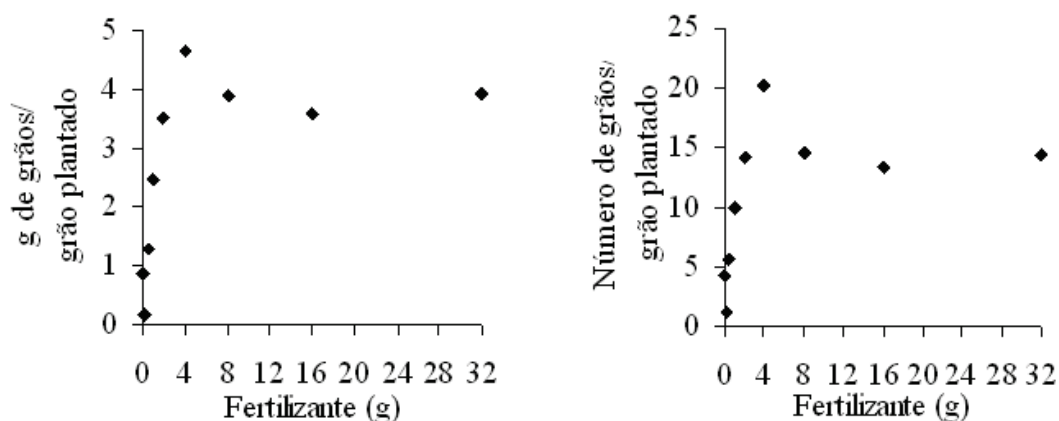


Figura 6 – Produção de feijão em função do nível variável do adubo NPK (4-14-8) no plantio.

4. CONCLUSÕES

A resposta na produção de milho e feijão pelo aumento na fertilização segue a lei dos rendimentos decrescentes. O aumento na produção pelo aumento na fertilização leva ao desperdício de fertilizantes, que são recursos naturais não renováveis. O emprego de nível moderado de fertilização proporciona uma agricultura mais sustentável e economicamente mais viável ao agricultor familiar.

5. LITERATURA CITADA

GOMES, L.A.A.; SILVA, E.C.; FAQUIN, V. Recomendações de adubação para cultivos em ambiente protegido. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, UFV, (1999. p.99-110.

LANA, R.P. **Nutrição e alimentação animal (mitos e realidades)**. 2ª Ed. Viçosa, UFV, (2007. 344p.

LANA, R.P. Plants responses to nutrients follow a Michaelis-Menten relationship. In: ASA, CSSA, SSSA International Annual Meetings, New Orleans, EUA. **Proceedings...** New Orleans, ASA, CSSA, SSSA, 2007b. p.223.

LANA, R.P. **Respostas biológicas aos nutrientes**. Viçosa, Editora CPD, 2007c. 77p.

LANA, R.P. Plants responses to nutrients follow the saturation kinetic typical of enzyme systems: biological, economical and environmental implications. **Online Journal of Biological Sciences**, v.8, p.19-24, 2008.

LANA, R.P. Uso racional de recursos naturais não renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Anais...** Maringá, Simpósio da SBZ, 2009. p.330-340.

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.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo, Ceres, 1987. 496p.

MBAgro. Oferta e demanda de fertilizantes no Brasil: uma avaliação da dependência externa da agricultura brasileira. 2007. Disponível em: http://www.abmr.com.br/marketing/insumos/fertilizantes/oferta_demanda_fertilizantes_mbagro.pdf (Acessado em 9 de maio de 2009).

PORTUGAL, D.A. **O Desafio da Agricultura Familiar**. 2004. In: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2002/artigo.2004-12-07.2590963189/> (Acessado em 11 de agosto de 2009).

