

EFEITO DE IRRIGAÇÃO, CALAGEM E ADUBAÇÃO DE COBERTURA SOBRE AS CONSTANTES CINÉTICAS DA RESPOSTA DO MILHO AO FERTILIZANTE NPK 4-14-8 E CORRELAÇÕES ENTRE ALGUMAS VARIÁVEIS PRODUTIVAS

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

RESUMO – No primeiro experimento, foi feita avaliação das constantes cinéticas de algumas medidas de crescimento da planta de milho em função de níveis de adubação com fertilizante NPK 4-14-8, em quatro diferentes maneiras: sem irrigação, com irrigação, irrigação mais calagem e irrigação mais calagem mais adubação com sulfato de amônia aos 35 dias. As constantes cinéticas K_s (quantidade de fertilizante para atingir metade da resposta máxima) e K_{max} (resposta máxima da planta) foram obtidas com base no modelo de Lineweaver-Burk. Foram feitas medidas de altura da planta, diâmetro do caule e volume aos 80 dias de idade da planta. O K_{max} para altura e diâmetro da planta de milho foi pouco alterado pela disponibilidade de água, água+calagem, água+calagem+cobertura com sulfato de amônia, mas o K_s foi bastante reduzido pela calagem com ou sem adubação de cobertura. Estes tratamentos potencializaram o efeito do fertilizante sobre o crescimento da planta, diminuindo a necessidade de fertilização para atingir o K_{max} . No segundo experimento, foi feita avaliação da resposta do milho à adubação com fertilizante NPK 4-14-8 e cobertura com sulfato de amônio em mesma quantidade aos 34 dias. Foram feitas medidas de altura da planta, diâmetro do caule e volume aos 34 e 70 dias de idade da planta e produção de milho (peso da espiga) aos 134 dias. Todas as variáveis foram altamente correlacionadas (acima de 0,90), mostrando que qualquer uma das medidas obtidas de forma antecipada permite obter estimativa precisa da produção final de grãos. A constante cinética K_{max} foi pouco alterada pela disponibilidade de água, mas a constante K_s foi reduzida drasticamente pela irrigação. A irrigação localizada em pequena quantidade e na época certa potencializa o efeito do fertilizante sobre o crescimento da planta, diminuindo a necessidade de fertilizante. Há necessidade de realização de mais pesquisas sobre o assunto, mas a expectativa é a diminuição da dependência de fertilizantes e água na produção de grãos.

Palavras-chave: Crescimento, Lineweaver-Burk, Michaelis-Menten, modelo.

EFFECT OF IRRIGATION, LIMESTONE APPLICATION AND COVER FERTILIZATION ON THE KINETIC CONSTANTS OF RESPONSE OF CORN TO THE FERTILIZER NPK 4-14-8 AND CORRELATIONS AMONG SOME PRODUCTIVE VARIABLES

ABSTRACT – In the first experiment, it was performed the evaluation of kinetic constants of some measures of corn growth as a function of levels of fertilization with NPK 4-14-8, in four different ways: without irrigation, with irrigation, irrigation plus limestone, and irrigation plus limestone at seeding plus ammonium sulfate at 35 days. The kinetic constants K_s (amount of fertilizer to reach half maximum response) and K_{max} (maximum plant response) were obtained based on Lineweaver-Burk model. They were made measures of plant height, diameter of stem and volume at 80 days of plant age. The K_{max} for height and diameter of the corn plant was low altered by availability of water, water + limestone and water + limestone + ammonium sulfate, but the K_s was great reduced by the limestone treatments. These treatments potentialized the effect of fertilizer on the plant growth, decreasing need of fertilization to reach K_{max} . In the second experiment, it was made evaluation of corn response to fertilization with NPK 4-14-8 and covering with sulfate of ammonia in same

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

² Departamento de Zootecnia/UFV, Viçosa, MG; bolsista 1B do CNPq; rlana@ufv.br

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



amount at 34 days. They were made measures of height of the plant, diameter of the stem and volume at 34 and 70 days of age of the plant and corn production (weight of the ear corn) at 134 days. All the variables were highly correlated (above 0.90), showing that any one of the obtained measures in a premature way allows to obtain good estimate of the final production of grains. The kinetic constant K_{max} was little altered by the availability of water, but the constant K_s was reduced drastically by irrigation. The located irrigation in small amount and at right time potentiates the effect of the fertilizer on the growth of the plant, reducing the fertilizer need. There is need of more researches on this theme, but the expectation is the decrease of the dependence of fertilizers and water in grain production.

Keywords: Growth, Lineweaver-Burk, Michaelis-Menten, model.

1. INTRODUÇÃO

As produtividades médias de grãos de milho e soja no Brasil são de 2.770 e 2.430 kg/ha, respectivamente, e as mais altas produtividades comerciais são de 11.000 e 4.800 kg/ha, respectivamente (Lobato & Sousa, 2004). Acredita-se que existe um alto potencial de produção a ser atingido pela maioria dos produtores, não só no caso do milho e soja, mas também em outras culturas, a exemplo do feijão, uma vez que o conceito de eficiência produtiva tem sido associado ao aumento na produtividade. Entretanto, o aumento da produtividade se associa à produção em escala, devido ao aumento dos custos de produção, favorecendo os grandes produtores, em detrimento dos agricultores familiares.

Os fertilizantes têm sido utilizados de forma indiscriminada para aumentar a produção de grãos, embora este procedimento cause aumento no custo de produção e leve à depleção das reservas mundiais destes recursos naturais (Lana, 2007). O Brasil é o país com maior dependência de importação de matéria prima para produção de fertilizantes e importa de 60 a 75% das necessidades da agricultura, estando muito à frente dos demais exportadores de produtos agrícolas.

As reservas mundiais de minerais, como o fosfato, cobre, zinco, manganês e selênio são suficientes para poucas décadas e o uso excessivo de fertilizantes pode contribuir para a contaminação do solo e dos cursos d'água com nitrato, acidificação do solo e emissões de dióxido de carbono, óxido nitroso e amônia para a atmosfera (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 na Índia seja insensível à alta nos preços dos fertilizantes (MBAgro, 2007).

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 5.961 kg/ha, enquanto o rendimento médio brasileiro foi de 1.570 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).

A produção de alimentos tem grande participação da agricultura familiar, que busca estabelecer sistemas de produção mais sustentáveis, por favorecer maiores benefícios ambientais e níveis de insumos condizentes com sua realidade econômica e social. Padrões estabelecidos para a recomendação de adubação na produção convencional visam máxima produtividade, enquanto sistemas mais sustentáveis buscam adequar a utilização de insumos de acordo com os preços obtidos para os produtos agrícolas.

Para se estabelecer níveis mais racionais de adubação nesse sistema é necessário o conhecimento sobre a eficiência de utilização dos nutrientes, o que poderá ser usado como ferramenta nas decisões políticas sobre o uso racional dos recursos naturais não



renováveis. A fertilização representa em torno de 42% dos custos da produção e o aumento marginal no crescimento da planta reduz pelo aumento da fertilização, que leva à poluição do solo e da água e ao desperdício de recursos naturais não renováveis (Lana, 2007). Assim, as fontes de fertilizantes naturais têm de ser usadas com a máxima eficiência e com o mínimo de efeitos negativos ao meio ambiente.

Tem sido de interesse do governo Brasileiro o desenvolvimento de alternativas para diminuir a dependência externa de fertilizantes. O entendimento dos modelos de saturação cinética para explicar as respostas biológicas aos nutrientes vem reforçar a viabilidade da produção de alimentos de forma sustentável, em uma nova era de escassez de recursos naturais não renováveis (Lana, 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar algumas variáveis produtivas e os parâmetros cinéticos da produção de milho em função de níveis de adubação, irrigação e uso de calagem, com vistas a reduzir a dependência de uso de fertilizantes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

No primeiro experimento, foram utilizados níveis crescentes do fertilizante NPK 4-14-8 no plantio (0,0; 0,0; 0,25; 0,25; 0,5; 0,5; 1; 1; 2; 4; 8; e 16 g/cova), em quatro diferentes maneiras: sem irrigação, com irrigação a cada 2-3 dias, irrigação mais calagem (16 g de cal virgem/cova no plantio) e irrigação mais calagem mais adubação com sulfato de amônia aos 35 dias (4 g/cova). Foi utilizado um grão de milho por cova em espaçamento de 20 x 50 cm. O plantio foi feito em época de pouca chuva (junho a agosto) e a irrigação foi feita a cada 2-3 dias. O desenho experimental foi delineamento inteiramente casualizado, em fatorial 4x8 (quatro tratamentos e oito níveis de fertilizantes) em duplicata (somente nos menores níveis de fertilizantes).

Utilizou-se o modelo de saturação cinética de Lineweaver-Burk para avaliar as respostas da planta de milho (altura, diâmetro e volume da planta aos 80 dias de idade) ao nível variável de fertilizantes, segundo Lana et al. (2005). 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.

O modelo de Lineweaver-Burk consiste em análise de regressão da recíproca da resposta da planta em função da recíproca do suprimento 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).

O desempenho máximo teórico foi obtido pela recíproca do intercepto ($K_{max} = 1/a$). A quantidade de nutriente necessária para atingir 50% de K_{max} foi obtida dividindo-se o coeficiente da regressão linear pelo intercepto ($K_s = b/a$).

No segundo experimento, foram utilizados níveis crescentes do fertilizante NPK 4-14-8 no plantio e mesmas quantidades de sulfato de amônio, 34 dias após o plantio de milho. Os níveis de fertilizante foram de 0,0; 0,0; 0,25; 0,25; 0,5; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 e 32 g/cova. Foram utilizados dois grãos de milho por cova, em espaçamento de 40 x 40 cm e cinco repetições para cada nível, totalizando 120 plantas na área experimental. O plantio foi feito em época de pouca chuva (abril a julho) e a irrigação foi feita a cada 2-3 dias, localizada e com restrição (300 mL/cova).

Utilizou-se o modelo de Lineweaver-Burk para avaliar as respostas da planta de milho ao nível variável de fertilizantes (altura, diâmetro e volume da planta aos 34 e 70 dias de idade; e peso das espigas aos 142 dias), segundo Lana et al. (2005). Descrição do modelo de Lineweaver-Burk e das medidas de volume da planta encontra-se na descrição do primeiro experimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

Segundo Lana et al. (2009), medidas de crescimento da planta de milho, como altura, diâmetro do caule e volume, são altamente correlacionadas com produção de grãos, podendo ser usadas como parâmetros para se avaliar respostas aos fertilizantes, com vantagem de se obter dados de forma antecipada.

As respostas das plantas de milho ao nível variável de fertilizante e em função dos tratamentos (irrigação, calagem e cobertura), em termos de altura, diâmetro e volume foram curvilíneas (Figura 1), sendo analisadas pelo modelo de Lineweaver-Burk (Lana et al., 2005).

A constante cinética K_{max} para altura e diâmetro da planta de milho foi pouco alterada pela disponibilidade

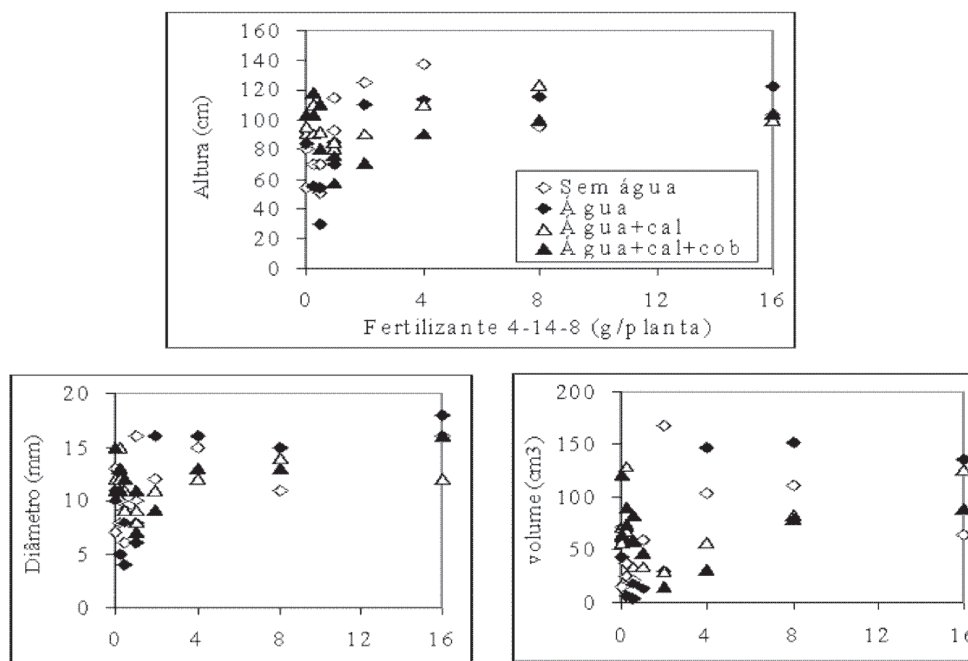


Figura 1 - Respostas produtivas do milho aos 80 dias em função da adubação com fertilizante NPK 4-14-8 no plantio. Cal = calagem (16 g de cal virgem/cova no plantio) e Cob = adubação de cobertura (4 g de sulfato de amônia/cova aos 35 dias).

de água, água+calagem, água+calagem+cobertura com sulfato de amônia, mas a constante K_s foi bastante reduzida pela calagem com ou sem adubação de cobertura (Tabela 1). Estes tratamentos potencializaram o efeito do fertilizante sobre o crescimento da planta, diminuindo a necessidade de fertilização.

As constantes cinéticas K_s , com exceção de dois valores, foram extremamente baixas em relação às obtidas por Guimarães et al. (2009) (0,6, 1,2 e 3,7 g de fertilizante para altura, diâmetro e volume da planta de milho aos 62 dias de idade), e próximos aos de Lana et al. (2009). Esta observação demonstra que o efeito do adubo foi alto, ou seja, pequena quantidade de adubo foi suficiente para elevar os dados de crescimento da planta em limites próximos ao K_{max} , especialmente nos tratamentos com calagem.

Estes resultados têm como consequência a falta de sintonia entre aqueles que acreditam que o aumento de produção e consequente aumento de renda pelos produtores rurais devem ocorrer em função do aumento de produtividade em vez da redução da relação custo-benefício, que na maioria das vezes não tem correlação com aumento de produtividade. A relação custo-benefício,

assim como o desempenho das plantas e animais em função do nível nutricional, tem ligação com a lei dos rendimentos decrescentes, que segue um modelo hiperbólico ou de saturação e pode ser o mais recomendado para os produtores rurais (Lana, 2009).

A agricultura prevalente no território nacional tem sido caracterizada como sendo de baixa adoção de tecnologias e de insumos e com baixa produtividade, 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 na produção de alimentos em uma nova era de escassez de recursos naturais não renováveis nas décadas vindouras.

Experimento 2

As respostas das plantas de milho ao nível variável de fertilizante, em termos de altura, diâmetro, volume e peso da espiga (só houve produção de uma por planta), em diferentes períodos, apresentaram curvas com formas



semelhantes (Figura 2). Esta constatação pode ser confirmada na Tabela 2, onde todas as variáveis foram altamente correlacionadas (r acima de 0,90), mostrando

que qualquer uma das medidas obtidas de forma antecipada permite obter estimativa precisa da produção final de grãos.

Tabela 1 - Parâmetros cinéticos de dados de crescimento da planta de milho aos 80 dias, em função de níveis de adubação com fertilizante NPK 4-14-8 no plantio e tratamentos

Item	Coeficientes de regressão linear da equação $1/Y = a + b * (1/X)$		Ks (g/cova) ¹	Kmax ²
	b	a	b/a	1/a
Altura (cm)				
Sem água	0,0017	0,0093	0,183	108
Água	0,0022	0,011	0,200	91
Água+cal	0,0001	0,0104	0,010	96
Água+cal+cob	-0,0007	0,0126	-0,056	79
Diâmetro (mm)				
Sem água	0,0122	0,0786	0,155	13
Água	0,0222	0,0865	0,257	12
Água+cal	-0,0025	0,0954	-0,026	10
Água+cal+cob	-0,0006	0,0904	-0,007	11
Volume (cm ³)				
Sem água	0,0078	0,0128	0,609	78
Água	0,0235	0,0432	0,544	23
Água+cal	-0,0013	0,0211	-0,062	47
Água+cal+cob	-0,0036	0,0282	-0,128	35

¹ Grama de fertilizante para atingir metade da resposta máxima produtiva.

² Unidades: altura (cm), diâmetro (mm) e volume (cm³).

Cal = calagem (16 g de cal virgem/cova no plantio) e Cob = adubação de cobertura (4 g de sulfato de amônia/cova aos 35 dias).

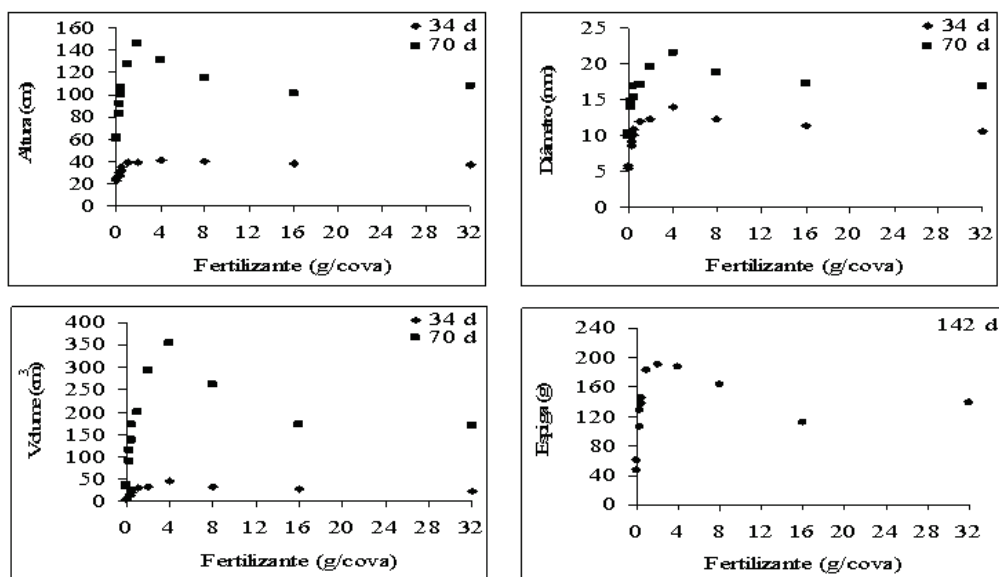


Figura 2 - Respostas produtivas do milho em função da adubação com fertilizante NPK 4-14-8 no plantio, e mesmas quantidades de sulfato de amônio, 34 dias após o plantio de milho.

Devido à recíproca dos dados produtivos em função dos níveis de fertilizantes não terem sido lineares (Figura 3A), os dados com alto 1/Y e baixo 1/X foram eliminados (Figura 3B) pelo fato de a planta já ter atingido platô de resposta e já estar apresentando sintomas de toxidez com redução da resposta produtiva.

A constante cinética K_s (0,184 g de fertilizante) proveniente do modelo da Figura 3B e as demais constantes apresentadas na Tabela 3 foram

extremamente baixas em relação às obtidas por Guimarães et al. (2009) (0,6, 1,2 e 3,7 g de fertilizante para altura, diâmetro e volume da planta de milho aos 62 dias de idade), e mais próximos ao experimento 1 (Tabela 1). O que diferiu foi que neste experimento foi feita irrigação localizada, mesmo em pequena quantidade e na época certa, o que pode ter potencializado o efeito do fertilizante sobre o crescimento da planta, diminuindo a necessidade do mesmo. Há necessidade de realização de mais

Tabela 2 - Correlação linear de Pearson entre diferentes variáveis

Item	Altura34 dias	Diâmetro34 dias	Volume34 dias	Altura70 dias	Diâmetro70 dias	Volume70 dias
Diâmetro 34 dias	0,96					
Volume 34 dias	0,96	0,98				
Altura 70 dias	0,93	0,94	0,92			
Diâmetro 70 dias	0,95	0,99	0,98	0,93		
Volume 70 dias	0,92	0,94	0,98	0,92	0,97	
Peso da espiga (g)	0,90	0,93	0,91	0,97	0,92	0,90

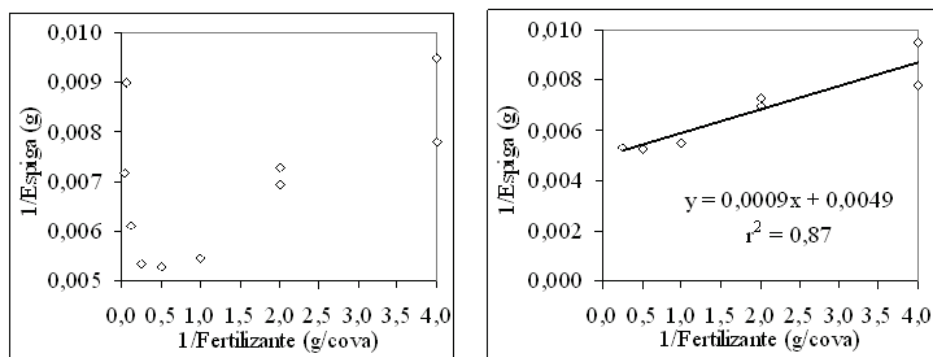


Figura 3 - Recíproca do peso da espiga de milho em função da recíproca do nível de fertilizante com todos os dados exceto nível zero da Figura 1 (esquerda) e somente com os dados até 4 g de fertilizante (direita).

Tabela 3 - Parâmetros cinéticos da produção de milho em função de níveis de adubação

Item	Coeficientes de regressão linear da equação $1/Y = a + b * (1/X)$		K_s (g/cova) ¹	K_{max} ²
	a	b		
Altura (cm) 34 dias	0,0234	0,0030	0,128	43
Diâmetro (mm) 34 dias	0,0756	0,0093	0,123	13
Volume (cm ³) 34 dias	0,0206	0,0135	0,655	48
Altura (cm) 70 dias	0,0067	0,0012	0,179	149
Diâmetro (mm) 70 dias	0,0510	0,0048	0,095	19
Volume (cm ³) 70 dias	0,0027	0,0018	0,667	370
Peso da espiga (g)	0,0049	0,0009	0,184	204

¹ Grama de fertilizante para atingir metade da resposta máxima produtiva.

² Unidades: altura (cm), diâmetro (mm), volume (cm³) e peso da espiga (g).



pesquisas para confirmar estes resultados encontrados, mas a expectativa é a diminuição da dependência de fertilizantes e água na produção de grãos.

4. CONCLUSÕES

As constantes cinéticas K_s foram muito baixas no primeiro experimento, especialmente com a calagem, e no segundo experimento, provavelmente devido à irrigação localizada, mesmo em pequena quantidade e na época certa, que potencializaram o efeito do fertilizante sobre o crescimento da planta de milho, diminuindo a necessidade de fertilização para atingir o platô de produção.

A altura, diâmetro e volume da planta de milho aos 34 e 70 dias apresentaram alta correlação com o peso das espigas, mostrando que qualquer uma das medidas obtidas de forma antecipada permite obter estimativa precisa da produção final de grãos.

5. LITERATURA CITADA

GUIMARÃES, G.; LANA, R.P.; SOUZA, M.R.M. et al. **Emprego de modelos de saturação cinética na recomendação sustentável de nutrientes no plantio de milho para a agricultura familiar.** In: I Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável. Viçosa: UFV, 2009.

LANA, R.P. **Respostas biológicas aos nutrientes.** Viçosa: Editora CPD, 2007. 177p.

LANA, R.P. Uso racional de recursos naturais não renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.330-340, 2009 (suplemento Especial).

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.

LANA, R.P.; Guimarães, G.; Alcântara, P.H.R. et al. Correlações entre algumas variáveis produtivas e parâmetros cinéticos da produção de milho em função de níveis de adubação. In: **I Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável.** Viçosa: UFV, 2009.

LOBATO, E.; SOUSA, D.M.G. Fertilidade do solo e máxima eficiência produtiva. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (eds.) **Cerrado - correção do solo e adubação.** 2.ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2004. p.257-282.

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

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