UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

GLAUCIA SOSSAI MALVESTITI

**Resposta técnica e econômica para adubação com N, P e K em
milho convencional e geneticamente modificado.**

Pirassununga-SP
2013

GLAUCIA SOSSAI MALVESTITI

**Resposta técnica e econômica para adubação com N, P e K em
milho convencional e geneticamente modificado.**

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos
da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique
de Cerqueira Luz

Pirassununga-SP
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
da Universidade de São Paulo

M262r Malvestiti, Glaucia Sossai
Resposta técnica e econômica para adubação com N, P e
K em milho convencional e geneticamente modificado. /
Glaucia Sossai Malvestiti. -- Pirassununga,
2013.
98 f.
Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Zootecnia.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade
Animal.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira
Luz.

1. Zea mays 2. Milho geneticamente modificado
3. Doses de nitrogênio 4. Fósforo 5. Potássio 6. Custos
de produção. I. Título.

A DEUS

Agradeço por mais uma etapa conquistada, e por não permitir que eu perdesse o equilíbrio frente às dificuldades.

Dedicatória

Aos meus pais, Pedro e Creusa, que sempre incentivaram e apoiaram os meus estudos, nunca me deixaram desistir, o carinho, o amor, a dedicação e a educação que vocês me proporcionaram foram fundamentais para essa conquista.

Ao meu marido Uátilla, que no início nesta batalha era namorado, que sempre esteve do meu lado em todos os passos, incentivando e compartilhando cada sentimento.

À minhas queridas amigas Fernanda e Liliane, que me ensinaram todos os pontos desta pesquisa e compartilharam comigo todas as fases, me ajudando a superar todas dificuldades encontradas.

Ao meu gerente Wladecir pelo incentivo nos estudos, consideração e ensinamentos e sua esposa Patrícia pela oportunidade e credibilidade depositada em mim.

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz, pela orientação, oportunidade, confiança depositada em mim, mesmo não me dedicando tempo integral ao laboratório, ensinamentos, auxílio e por proporcionar todas as condições para que esse trabalho pudesse ser desenvolvido.

À FZEA/USP pela oportunidade.

À MONSANTO DO BRASIL Ltda. pela oportunidade de realocar meu horário de trabalho para dedicar a pesquisa e ao meu desenvolvimento intelectual.

Aos meu colegas de trabalho e amigos Daniel, Patrick e Cristiane que me ajudaram tecnicamente nas fases deste trabalho e me deram suporte na empresa enquanto estava fora me dedicando a pesquisa.

Aos funcionários e estagiários do laboratório das Agrárias, especialmente ao Marquinho, Lorena, e Leonardo que me ajudaram na execução das análises desta pesquisa.

Aos funcionários da Monsanto do Brasil Ltda. Marinéia, Antônio, Joel, Edson, Luiz, Bento, que me ajudaram na condução dos experimentos.

Ao meu pai, tio Célio e meu primo Antonio que me ajudaram na coleta de amostras dos experimento.

Aos meus familiares e amigos que sempre torceram muito por mim

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

Malvestiti, G. S. **Resposta técnica e econômica para adubação com N, P e K em milho convencional e geneticamente modificado.** 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

O objetivo foi avaliar níveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em milho (*Zea mays* L.) com alto potencial genético para produtividade, sendo convencional e geneticamente modificado, visando recomendações de manejo da nutrição sob os pontos de vista técnico e econômico. Foram conduzidos seis experimentos, estudando cinco níveis de fornecimento dos nutrientes N, P e K, sendo T1= omissão completa do N; T2= 50 kg ha⁻¹ de N; T3= 100 kg ha⁻¹ de N; T4= 150 kg ha⁻¹ de N; T5= 200 kg ha⁻¹ de N; T6= omissão completa do P; T7= 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T8= 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T9= 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T10= 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T11= omissão completa do K; T12= 50 kg ha⁻¹ de K₂O; T13= 100 kg ha⁻¹ de K₂O; T14= 150 kg ha⁻¹ de K₂O; T15= 200 kg ha⁻¹ de K₂O, e dois híbridos, o DKB390 convencional e o DKB390PRO, totalizando 20 unidades experimentais para cada ensaio. Avaliou-se índice de coloração verde com clorofilmetro no estádio R1, altura de planta, rendimento de grãos, teor foliar de N, P e K no estádio R1 e teor de P e K no solo em pós-colheita em 3 profundidades (0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm). Também foi determinado os custos de produção relacionando o híbrido convencional e o geneticamente modificado. Para o híbrido convencional DKB390 a aplicação de N provocou aumentos lineares do teor de N na folha, implicando em resposta quadrática para o rendimento de grãos atingindo produção máxima de 10718 kg ha⁻¹ para dose de 135 kg de N ha⁻¹. Para os níveis aplicados de P, a resposta foi de forma linear crescente no solo, na folha e no rendimento de grãos para o intervalo avaliado (0 a 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅). Para o K, o rendimento expressou resposta linear crescente, por outro lado os níveis de K na folha e no solo apresentaram respostas quadrática. Para o híbrido geneticamente modificado DKB390PRO, os níveis de N aplicados provocaram resposta quadrática para o teor de N na folha com correlação positiva para o índice de coloração verde, refletindo sobre o rendimento de grãos, cuja a produção máxima foi de 11.082 kg ha⁻¹ para a dose de 164 kg ha⁻¹ de N. Para o P, os níveis utilizados proporcionaram resposta linear crescente para o teor foliar de P, sendo que o rendimento de grãos teve resposta quadrática produzindo 9.791 kg ha⁻¹ na dose de 95 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No solo obteve-se resposta linear crescente para as profundidades 0-10 cm e 20-40 cm sendo quadrática para 10-20 cm. Para o K a resposta foi linear crescente na folha e quadrática no rendimento de grãos com produção máxima de 9.401 kg ha⁻¹ na dose de 93 kg ha⁻¹ K₂O. Para o solo, as respostas alcançadas tiveram comportamento quadrático para as profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm sendo linear crescente na de 20-40cm. Para produtividades maiores que 10.041kg ha⁻¹, o custo esperado de DKB390PRO foi menor, ou seja, o produtor tem que ter o compromisso de atingir elevadas produtividades quando se utiliza híbridos de alta tecnologia.

Palavras-chave: *Zea mays*, Milho Geneticamente Modificado, Doses de Nitrogênio, Fósforo e Potássio, Custos de Produção.

ABSTRACT

Malvestiti, G. S. **Technical and economic response of conventional and genetically modified corn to levels N, P and K.** 2013. 94 f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

The goal of this research was to analyse levels of nitrogen, phosphorus and potassium in corn (*Zea mays* L.) for conventional and genetically modified productivity, with the goal providing recommendation for nutrients applications from a technical and economic perspective. Six experiments were conducted: two hybrids were used, one conventional, DKB390, and one genetically modified, DKB390PRO. Each hybrid was tested for 3 different nutrients, N, P, and K. Five application rates were tested for each nutrient: T1= complete omission of the nutrient N; T2= 50 kg ha⁻¹ of N; T3= 100 kg ha⁻¹ of N; T4= 150 kg ha⁻¹ of N; T5= 200 kg ha⁻¹ of N; T6= complete omission of the nutrient P; T7= 40 kg ha⁻¹ of P₂O₅; T8= 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅; T9= 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅; T10= 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅; T11= complete omission of the nutrient K; T12= 50 kg ha⁻¹ of K₂O; T13= 100 kg ha⁻¹ of K₂O; T14= 150 kg ha⁻¹ of K₂O; T15= 200 kg ha⁻¹ of K₂O. Green coloring index with SPAD in R1 stage, plant height, grain yield, N, P and K amount in leaf in R1 stage, and P and K amount in soil post harvest in three depths 0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm were evaluated. Production costs comparing conventional and genetically modified hybrids were also studied. Nitrogen application for the conventional DKB390 caused a linear increase in the amount of N in the leaves, resulting in a quadratic response for grain yield reaching maximum production of 10718 kg ha⁻¹ for an application of 135 kg ha⁻¹. The response to P levels used was an increasing linear relationship in the leaves as well as ingrain yield for the interval studied (0 to 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅). K applications produced an increasing linear response for yield and a quadratic response in the leaves and soil. N application used produced a quadratic response in the leaves for the genetically modified hybrid, DKB390PRO with positive correlation for the green coloring index, reflected in grain yield, whose maximum production was 11082 kg ha⁻¹ for the application rate of 164 kg ha⁻¹ of N. The rates of P applied induced a linear response in P concentrations in the leaves, while grain yield had a quadratic response producing 9791 kg ha⁻¹ for the application rate of 95 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and in soil the response was increasingly linear for the depths 0-10 and 20-40 cm and quadratic for 10-20 cm. Responses in the leaves were increasingly linear for K, quadratic in grain yield with maximum production of 9401 kg ha⁻¹ in the application rate of 93 kg ha⁻¹ K₂O, and for soil the responses were quadratic for the depths of 0-10 and 10-20 cm being increasingly linear in the 20-40cm. The expected cost of DKB390PRO is less for yields greater than 10,041 kg ha⁻¹, and producers should be committed to these higher yields when using high technology hybrids.

Keywords: *Zea mays*, Genetically Modified Corn, Nitrogen, Phosphorus and Potassium levels, Production costs.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Cultura do milho.....	14
2.1.1 Visão Geral	14
2.1.2 Caracterização	15
2.1.3 Fenologia	16
2.1.4 Nutrição mineral.....	17
2.1.5 Recomendação de correção e adubação	19
2.1.6 Avaliação do estado nutricional	21
2.2 Nutrição com Nitrogênio, Fósforo e Potássio	23
2.2.1 Nitrogênio (N)	23
2.2.2 Fósforo.....	26
2.2.3 Potássio.....	28
2.3. Transgênicos.....	30
2.3.1 Histórico	30
2.3.2 Caracterização das tecnologias.....	31
2.3.2.1 Pragas alvo MON 89034 (DKB390 PRO)	34
2.4. Custos	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1 Local dos experimentos.....	39
3.2 Cultura estudada e caracterização do híbrido	39
3.3 Caracterização da área	39
3.4 Instalação dos experimentos.....	41
3.5 Delineamento Experimental	44
3.6 Experimentos.....	44
3.6.1 Experimentos com semente de milho DKB 390	45
3.6.1.1 Experimento 1	45
3.6.1.2 Experimento 2	45
3.6.1.3 Experimento 3	46
3.6.2 Experimentos semente de milho DKB 390PRO	46
3.6.2.1 Experimento 4	46
3.6.2.2 Experimento 5	47
3.6.2.3 Experimento 6	47
3.7 Medição do teor de clorofila nas folhas.....	47
3.8 Coleta de folhas para análise foliar.....	48
3.9 Colheita e avaliações de produtividade	50
3.10 Coleta de solo em pós colheita	51
3.11 Custos	52
4.1 Experimentos com híbrido DKB390	54
4.1.1 Experimento 1 - Nitrogênio (N)	54

4.1.2 Experimento 2 - Fósforo (P).....	57
4.1.3 Experimento 3 - Potássio (K)	61
4.2 Experimentos testando híbrido DKB390PRO	65
4.2.1 Experimento 4 - Nitrogênio (N)	65
4.2.2 Experimento 5 - Fósforo (P).....	69
4.2.3 Experimento 6 - Potássio (K)	73
4.3 Pontos máximos de rendimento.....	77
4.4 Custos de produção dos híbridos DKB390 e DKB390PRO	79
5. CONCLUSÕES.....	85
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1. INTRODUÇÃO

Um dos cereais mais cultivados no mundo é o milho (*Zea mays* L.), tendo grande importância social e econômica devido ao alto valor nutritivo e alto potencial de rendimento e lucro. São Paulo está entre os principais estados brasileiros produtores de milho com produções variando entre 5.520 e 7.376 mil toneladas por ano (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013).

É utilizado na alimentação humana “*in natura*”, em conserva, processado e também tem grande participação na composição de rações para animais convertendo-se produção de carne, leite, ovos entre outros alimentos para o consumo.

O cultivo de milho exige um rigoroso planejamento e execução correta do manejo, visando maximizar a produção e a capacidade produtiva. A produtividade do milho está diretamente ligada a fatores ambientais como temperatura, luz, ventos e disponibilidade hídrica, o que determina a adaptabilidade dos diferentes genótipos, em diversas regiões do país (ANDRADE, 1995).

As necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que ela extrai durante o seu ciclo. Essa extração total dependerá, portanto, do rendimento obtido e da concentração que são necessários colocar à disposição da planta. Desta forma a quantidade total de nutrientes que ela extrai deve ser fornecido pelo solo e/ou através de adubações (COELHO; FRANÇA, 1995).

Essa disponibilidade de nutrientes deve ser em quantidades corretas para que a planta consiga se desenvolver plenamente e evitar que o nutriente falte ou cause intoxicação na planta. A busca com este equilíbrio favorece os custos da lavoura, tendo a maior produção aliada com o custo mais adequado, visando manifestar a máxima resposta técnica e econômica por kg de nutriente aplicado.

Dentre os insumos utilizados na lavoura de milho, a semente tem especial importância, pois agrega fatores como potencial produtivo, tolerância a pragas, doenças, resistência às condições adversas de clima e solo, entre outros. A escolha do cultivar mais adequado a cada situação é fator de acréscimo na produtividade (CRUZ et al., 1996). Atualmente o valor da semente é significativo no custo total da lavoura. Porém, os benefícios das tecnologias proporcionam maior produtividade aumentando a margem de lucro do produtor.

Além de melhoramento genético, hoje a transgenia traz muitos benefícios ao produtor de milho e ao meio ambiente. Tecnologias conferem resistência e/ou supressão a lagartas e herbicidas e auxiliam o incremento em produtividade. O produtor consegue economizar

recursos evitando aplicações de inseticida, diminuindo entradas na lavoura, reduzindo a exposição do meio ambiente e do homem a agroquímicos, o que leva maior produtividade e consequentemente a maior lucratividade.

As recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho evoluíram sensivelmente no Brasil na década de 1990, acompanhando dados de pesquisas mais recentes e a melhoria geral nas condições de cultivo, que incluem novos híbridos e melhores práticas culturais (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Porém, já se passaram mais de 20 anos e muita evolução tem acontecido e as recomendações continuam baseadas na década de 90.

Assim, tendo a hipótese de que híbridos de milho convencionais e geneticamente modificados com alta tecnologia apresentam a mesma resposta técnica e econômica para N, P e K, o objetivo deste projeto foi avaliar níveis de nitrogênio, fósforo e potássio em milho (*Zea mays* L.) para alta produtividade convencional e geneticamente modificado, visando recomendações de manejo da nutrição sob os pontos de vista técnico e econômico.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do milho

2.1.1 Visão Geral

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, tendo grande importância social e econômica devido ao alto valor nutritivo e alto potencial de rendimento e lucro. Segundo United States Department of Agriculture (2013) a produção mundial de milho foi de 945,8 milhões de toneladas na safra 2012/2013.

No âmbito nacional, a produção foi de 81.344,4 mil toneladas de milho em 2012/2013. Este valor representa um acréscimo de 3,8% na produção quando comparada com a safra anterior. O cultivo de milho se dá em todas as regiões, utilizando uma área de 6.906,8 mil de hectares (CONAB, 2013). O Brasil é considerado o terceiro país mais produtivo, com 4.081 kg ha⁻¹ de grãos (AGRIANUAL, 2012).

Os principais estados brasileiros produtores de milho em ordem decrescente são: Mato Grosso com 36.630 t/ano; Paraná com 29.057 t/ano; Rio Grande do Sul com 21.025 t/ano; Goiás com 18.054 t/ano; Minas Gerais com 11.974 t/ano; Santa Catarina; São Paulo com produções variando entre 5.520 e 7.376 mil de toneladas por ano (CONAB, 2013).

A safra 2012/2013 foi iniciada com 5.869,5 mil toneladas de milho estocado, a produção foi de 81.344,4 mil toneladas, 500 mil toneladas foram importadas, 52.053,9 mil toneladas foram consumidas, 17.500 mil toneladas foram exportadas e o estoque final de milho armazenado pelo Brasil foi de 18.160 mil toneladas (CONAB, 2013).

O Brasil ocupa a terceira posição na classificação mundial de produtividade de milho no mundo, sendo superado pelos Estados Unidos com 9.605 kg ha⁻¹ e pela Argentina com 7.647 kg ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2012).

A produção de milho verão da safra 2010/2011 foi uma das maiores já registradas no Brasil. Houve um encolhimento da área de plantio no Centro-Sul, mas as lavouras do Norte e Nordeste compensaram o recuo (AGRIANUAL, 2012).

A cultura do milho no Brasil vem apresentando crescimento expressivo na produtividade, o que tem permitido aumento na produção, tendo em vista que a área plantada tem diminuído sistematicamente em todas as regiões do país. Uma importante mudança na evolução da cultura a partir do início da década de 90 tem sido a substituição pelo cultivo da

soja, em função da melhor rentabilidade econômica. O milho tem sido semeado em sucessão a soja, considerada a cultura de verão. Este cultivo em sucessão a soja é denominado de “milho safrinha”. Esse sistema de produção predomina nos estados do Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo que a safrinha em alguns anos tem maior produção de milho do que na safra (COELHO, 2005).

A produtividade média brasileira de milho ainda é baixa, não refletindo o bom nível tecnológico alcançado por parte dos produtores, já que as médias são obtidas em lavouras com diferentes finalidades de produção e sistema de cultivo. Para o aumento da produtividade é necessário que em parte das propriedades sejam adotadas técnicas básicas, incluindo a calagem e adubação, e noutras, o aprimoramento integrado de todas as técnicas culturais para suplantarem os atuais tetos de produtividade (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

As regiões Norte e Nordeste do país utilizam variedades de milho que possuem, teoricamente, menor potencial genético de produção que os híbridos que apresentam maior estabilidade de produção. Além disso, por terem menor custo de produção, são encontradas no mercado a preços mais baixos do que os híbridos. Por essa razão, seu uso tem sido mais difundido entre produtores menos capitalizados, existindo, inclusive, ações de entidades governamentais e não governamentais para a sua difusão (CRUZ et al., 1996).

2.1.2 Caracterização

O milho é uma monocotiledônea de caule delgado, que pode chegar a dois metros de altura. Seu fruto é cilíndrico, com grãos de tamanho médio inseridos em fileiras no sabugo, formando espiga e revestido por um pericarpo (ARAGUAIA, 2013).

É originário da América provavelmente da região onde hoje se situa o México. O homem civilizado herdou mais de 300 raças de milho, caracterizadas pelas mais diversas adaptações, tanto para condições climáticas, como para os vários usos do cereal. Acrescenta-se ainda a diversidade de variedades intra-raciais e a enorme quantidade de genes identificados, que torna o milho a espécie botânica de maior diversidade genética existente na natureza. Praticamente toda essa variabilidade genética é fruto da seleção que, ao longo das gerações, foi promovendo rearranjo progressivo do material genético (PATERNIANI, 1993).

Tem ciclo anual, podendo obter duas gerações por ano, grande variabilidade genética natural, facilidade do controle parental, devido suas inflorescência masculinas serem separadas das femininas, facilidade de identificação e seleção de plantas individuais, e

possibilidade do emprego de vários tipos de controle genealógico, com autofecundação (PATERNIANI, 1993).

Com alto teor de carboidratos, ferro (Fe), fósforo (P), potássio (K) e vitaminas, como a B1 e E, o fruto do milho é bastante utilizado na alimentação humana e, principalmente, na composição de rações de diversos animais, por ser uma rica fonte energética que auxilia na regulação do sistema digestório e nervoso, no tônus muscular, combate a degeneração muscular, além de ser de fácil digestão. Seu óleo tem sido utilizado na culinária e na fabricação de biocombustíveis (ARAGUAIA, 2013).

O cultivo de milho exige um rigoroso planejamento e execução correta do manejo, visando maximizar a produção e a capacidade produtiva. (ANDRADE, 1995).

O cultivar adequado a cada situação é fator de acréscimo na produtividade. A semente é muito importante, pois agrega fatores como produtividade, tolerância a pragas, doenças, resistência às condições adversas de clima e solo, entre outros (CRUZ et al., 1996).

2.1.3 Fenologia

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), o milho é uma planta de ciclo vegetativo muito variado, sendo que nas condições brasileiras a cultura apresenta ciclo de 110 a 180 dias em função da caracterização dos híbridos (superprecoce, precoce e normal).

Conforme apresentado por Fancelli (1986) a escala fenológica do milho ocorre na forma apresentada na Tabela 1.

Os estádios vegetativos de desenvolvimento da planta de milho são determinados pela folha completamente expandida, que é aquela que apresenta a linha de união da lamina-bainha facilmente visível. O estágio é determinado quando 50% das plantas apresentam a descrição (FANCELLI, 1986).

A taxa de desenvolvimento da planta para qualquer híbrido está relacionada com a temperatura, de tal forma que o período de tempo entre os diferentes estádios oscilará de acordo com as variações de térmicas, tanto dentro de uma safra quanto entre safras. Os estresses ambientais, tais como deficiências de nutrientes ou de umidade, podem dilatar o tempo entre os estádios vegetativos, porém encurtando o tempo entre os estádios reprodutivos. O número de grãos que se desenvolvem, o tamanho final dos grãos, a taxa de incremento no peso dos grãos e a duração do período de crescimento reprodutivo, variarão entre diferentes híbridos e condições ambientais (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003).

Fancelli (2010) afirmou que a redução na absorção de nutriente em plantas de milho no estágio V4 provocam perdas irreversíveis na produção.

Tabela 1 - Escala fenológica da cultura do milho

Estádio	Caracterização do estágio
<i>Fase Vegetativa</i>	
V0 ou VE	Germinação/Emergência: embebição, digestão de substâncias de reserva do cariopse, divisão celular e crescimento das raízes seminais.
V2	Emissão da 2ª folha: emissão das raízes primárias e das raízes seminais, início do processo fotossintético com duas folhas totalmente expandidas.
V4	Emissão da 4ª folha: definição do potencial produtivo.
V6	Emissão da 6ª folha: crescimento do diâmetro do colmo, aceleração do desenvolvimento do pendão e definição do número de fileiras de grãos na espiga.
V8	Emissão da 8ª folha: início da definição da altura da planta e da espessura do colmo.
V12	Emissão da 12ª folha: início da definição do número e tamanho de espiga.
V14	Emissão da 14ª folha.
<i>Fase Reprodutiva</i>	
Vt	Emissão do pendão e abertura das flores masculinas.
R1	Florescimento pleno: início da confirmação da produtividade.
R2	Grão leitoso.
R3	Grão pastoso.
R4	Grão farináceo.
R5	Grão farináceo duro.
R6	Maturidade fisiológica: máximo acúmulo de matéria seca e máximo vigor da semente, aparecimento do ponto preto na base do grão.

Fonte: Fancelli (1986)

2.1.4 Nutrição mineral

A quantidade de nutriente extraída pela planta durante o ciclo de produção é o que determina as necessidades nutricionais da cultura. Essa extração total dependerá, portanto, do rendimento obtido e da concentração que é necessário colocar à disposição da planta. Através de adubações e de nutrientes já existente no solo, a planta obtém a quantidade total de nutrientes utilizado (COELHO; FRANÇA, 1995).

O conhecimento da fenologia e marcha de absorção e nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é importante porque permite determinar as épocas em que os elementos são mais exigidos e corrigir as deficiências que, por ventura, venham ocorrer durante o desenvolvimento da cultura (BARBOSA FILHO, 1987).

A acumulação de matéria seca do milho se processa de forma contínua até o estágio de maturação dos grãos, existindo período de acumulação mais intensa próximo ao florescimento (CANTARELLA; DUARTE, 2004).

O conhecimento das taxas de extração e exportação de macro e micronutrientes para planta é vital para o planejamento da adubação, conforme apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Absorção e exportação de nutrientes, correspondente ao rendimento de 9 t ha⁻¹ pela cultura de milho.

Nutriente	Absorção (kg ha ⁻¹)	Exportação (kg t ⁻¹)	Nutriente	Absorção (g ha ⁻¹)	Exportação (g t ⁻¹)
N	190	17,2	Fe	2110	16,1
P	39	3,4	Mn	340	6,6
K	196	4	Cu	110	2,2
Ca	40	0,1	Zn	400	22
Mg	44	1,2	B	170	4,4
S	21	1,3	Mo	9	0,7

Fonte: Bull (1993)

Tabela 3 - Extração média pelo milho para a produção de grãos em diferentes níveis de produtividade.

Produtividade (kg ha ⁻¹)	Extração de nutrientes (kg ha ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
3650	77	9	83	10	10
5800	100	19	95	17	17
7870	167	33	113	27	25
9170	187	34	143	30	28
10150	217	42	157	32	33

Fonte: Coelho e França (1995)

Porém, a exigência das culturas por nutrientes não pode ser inferida somente a partir da extração total, principalmente pela existência de pico de máxima absorção pela planta. Faz-se necessário o estudo da marcha de absorção do nutriente em função do tempo para prever como e quando serão feitas as adubações (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

A exigência do nitrogênio (N) para cultura do milho se dá durante o ciclo vegetativo. Porém, a quantidade deste nutriente adicionado no plantio não atende esse intervalo de tempo, pois se for adicionado doses elevadas no sulco de semeadura poderá favorecer a salinização e/ou alcalinização da rizosfera, afetando o funcionamento das raízes. Portanto, é necessário realizar adubação de cobertura de forma parcelada de acordo com as condições edafoclimáticas (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

Para aumentar a produtividade por área, tem sido empregado altas populações de plantas e espaçamentos estreitos. As altas produções têm sido obtidas também pelo aumento da taxa diária de acúmulo de matéria seca e nutrientes. O aumento da acumulação de matéria seca contribuiu para 85% dos ganhos genéticos da produção de grãos e apenas 15% deste ganho pode ser atribuído ao aumento do índice de colheita (proporção de grãos na parte aérea) (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

No que se refere à exportação dos nutrientes, o P é quase todo translocado para os grãos (77% a 86%), seguindo-se o N (70% a 77%), o S (60%), o Mg (47% a 69%), o K (26% a 43%) e o Ca (3% a 7%). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente K e Ca, contidos na palhada. Quando o milho é colhido para silagem, além dos grãos, a parte vegetativa também é removida, havendo conseqüentemente alta extração e exportação de nutrientes (COELHO; RESENDE; SANTOS, 2011).

2.1.5 Recomendação de correção e adubação

O milho é considerado uma cultura responsiva à calagem, embora exista grande variabilidade genética com respeito a tolerância à acidez (OLIVEIRA et al., 1983).

A recomendação de calagem no Brasil visa elevar a saturação por bases a 60% (ALVES, 1999) ou 70% da CTC_t (RAIJ; CANTARELLA, 1997), o que corresponde a um pH em CaCl₂ em torno de 5,5 a 6,0. Em solos com altos teores de matéria orgânica (>50 g/dm³) é suficiente fazer a calagem para atingir cerca de 50% da saturação por bases (QUAGGIO et al., 1985; RAIJ; CANTARELLA, 1997). As recomendações oficiais de adubação para a cultura do milho evoluíram sensivelmente no Brasil na década de 90, acompanhando dados de pesquisas mais recentes e a melhoria geral nas condições de cultivo, que incluem novos híbridos e melhores práticas culturais (CANTARELLA; DUARTE, 2004).

Segundo Rajj e Cantarella (1997), para uma produtividade esperada de 8 a 10 t/ha de milho e de acordo com a análise de solo, após aplicar calcário para elevar a saturação por bases a 70% e o magnésio a um teor mínimo de 5 mmolc dm⁻³, é necessário aplicar no plantio 30 kg ha⁻¹ de N no plantio + 60–90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ + 50 kg ha⁻¹ de K₂O + 40 kg ha⁻¹ de S + 4 kg ha⁻¹ de Zn, quando os teores estiverem entre 0,6 e 1,2 mg dm⁻³.

A adubação mineral em cobertura deve ser realizada com 120, 90 ou 50 kg ha⁻¹ de N (alta, média e baixa resposta a N, respectivamente) + 20, 60 ou 90 kg ha⁻¹ de K₂O,

dependendo da quantidade de K^+ trocável no solo; num máximo de 150 kg ha^{-1} de N (plantio + cobertura) (MENGUEL, 1996).

Segundo Fancelli (2000a), a recomendação de adubação nitrogenada em cobertura para condições de solo argiloso e período de baixa pluviosidade é de uma aplicação de N em cobertura na época de 3ª a 4ª folha. Em solos arenosos e/ou condições favoráveis à lixiviação de N, duas aplicações sendo a primeira em 3ª a 4ª folha e a segunda 6ª a 8ª folha. Em solos corrigidos, intensamente cultivados e sistema de produção sob agricultura irrigada, três aplicações em 3ª a 4ª folha, segunda 6ª a 8ª folha e a terceira 10ª a 12ª folha.

Entre a emissão da quarta e sexta folhas, a região de crescimento da planta de milho (tecido meristemático) atinge a superfície do solo, iniciando o processo de diferenciação floral, o qual origina os primórdios da panícula e da espiga, bem como principia a definição do potencial produtivo da espécie (FANCELLI, 2010).

No estágio de quatro a seis folhas, ocorrem as diferenciações das várias partes da planta e a definição de sua produção potencial. Os componentes da produção, como número de fileiras de grãos por espiga e tamanho da espiga é definida nos estádios de quatro a seis folhas, necessitando nessa época de um suprimento adequado de N. Assim, a ocorrência de deficiência de N nesta fase reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; SCHRÖDER et al., 2000).

A adubação nitrogenada tem um papel importante por ser o N o elemento absorvido em maior quantidade pelo milho e principalmente pela dificuldade de avaliar sua disponibilidade no solo, devido a múltiplas reações a que ele está sujeito, mediadas por micro-organismos e afetadas por fatores climáticos de difícil previsão (CANTARELLA; DUARTE, 2004).

A complexidade das reações do N no solo dificulta o diagnóstico de sua disponibilidade para as plantas com base na análise do solo, ao contrário do que ocorre com sucesso para acidez e determinação de outros nutrientes, inclusive micronutrientes (CANTARELLA; DUARTE, 2004).

2.1.6 Avaliação do estado nutricional

Avaliar o estado nutricional consiste em fazer uma comparação entre amostra e padrão. Amostra é uma planta ou um conjunto de plantas (uma cultura inteira ou parte da mesma). Padrão significa uma planta ou conjunto de plantas “normais” do ponto de vista da sua nutrição. Considera-se normal uma planta que, tendo os seus tecidos todos os elementos em quantidades e proporções adequadas, é capaz de dar altas produções, tendo um aspecto visual parecido com o encontrado em lavouras muito produtivas. Alternativamente, pode-se considerar como normal a planta que foi cultivada em condições controladas de nutrição, não sofrendo restrições para crescer e produzir quanto à quantidade e à proporção dos elementos que recebe (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Esta avaliação do estado nutricional de espécies tem sido amplamente utilizada e discutida, no intuito de possibilitar intervenções mais precisas em sistemas de produção vegetal, por meio de práticas de manejo e adubação (URANO et al., 2006).

A determinação dos teores foliares de nutrientes apresenta-se como possibilidade de detecção de deficiência (REIS et al., 2006). O motivo pelo qual se analisam as folhas, é que elas são os órgãos que como regra geral, refletem melhor o estado nutricional, isto é, respondem mais às variações e é nelas que ocorre a maioria dos processos fisiológicos e metabólicos, estando seu conteúdo mineral sempre relacionado com desenvolvimento e aumento de produção. A folha que deve ser escolhida para análise, é a folha recém-madura em certa época da vida da planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Deve se considerar também o momento de coleta deste órgão para análise, pois se a identificação de deficiência ocorrer em estágio muito avançado, a informação pode não ser útil (WU, et al., 2007).

A análise nutricional da planta pode ser realizada das seguintes formas:

- a) Diagnose visual: consiste em comparar o aspecto da amostra com o do padrão. Na maior parte dos casos compara-se o de um órgão, geralmente a folha. Dependendo do elemento, porém, a comparação pode ou deve ser feita utilizando outros órgãos como raiz ou fruto. Se houver falta ou excesso de um dado elemento, isto será traduzido em anormalidades visíveis, as quais são típicas e têm um denominador comum para o elemento em questão (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).
- b) Diagnose nutricional pela análise química das plantas (Diagnose foliar): considera a própria planta como extrator de nutriente do solo, permitindo avaliar diretamente seu estado nutricional por meio das concentrações e assim de forma indireta avaliar a

fertilidade do solo. No entanto, este método apresenta algumas limitações práticas como não permitir interpretação dos resultados de amostras coletadas fora do período recomendado por cultura, não permite avaliar quantitativamente a necessidade de adubação, entre outros (DECHEN; NAVA; BATAGLIA, 2007).

A utilização da análise foliar como critério diagnóstico baseia-se na premissa de existir uma relação significativa entre o suprimento de nutrientes e os níveis dos elementos, em que aumentos ou decréscimos nas concentrações se relacionam com produções mais altas ou mais baixas, respectivamente. Para o milho, deve-se seguir a seguinte recomendação para coletar a folha: terço central da folha da base inferior da espiga, coletada na fase em que ao menos 50% das plantas se encontrem pendoadas. A análise nesse estágio fisiológico é feita pelos seguintes motivos: a) o estágio de desenvolvimento e a posição da folha são facilmente reconhecidos; b) a remoção de uma simples folha não afeta a produção; c) o efeito de diluição dos nutrientes nessa fase é mínimo, porque o potencial de crescimento e armazenamento dos órgãos vegetativos atingiram o ponto máximo e, d) o requerimento de nutrientes é alto nessa fase. Normalmente recomenda-se a coleta de 30 folhas por hectare quando 50 a 75% das plantas exibirem inflorescência feminina (embonecamento). Para análise, as amostras de folhas devem ser lavadas por meio de imersão rápida em água desmineralizada para retirar a poeira devido à contaminação por alguns micronutrientes, principalmente ferro, manganês e zinco, e posteriormente secas ao sol ou em estufa a 60°C (COELHO; FRANÇA, 1995).

Os teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para culturas produtivas de milho, compilados de diversos autores por Büll (1993), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Teores foliares de nutrientes considerados adequados para a cultura do milho. Macronutrientes (g kg⁻¹) Micronutrientes (mg kg⁻¹).

Macronutrientes	g kg ⁻¹	Micronutrientes	mg kg ⁻¹
N	27,5 – 32,5	Boro	15 – 20
P	1,9 – 3,5	Cobre	6 – 20
K	17,5 – 29,7	Ferro	50 – 250
Cálcio	2,3 - 4	Manganês	42 – 150
Magnésio	1,5 – 4	Molibdênio	0,15 – 0,2
Enxofre	1,5 – 2,1	Zinco	15 – 50

- c) Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS): este método por utilizar relações entre nutriente e por compará-las com uma população de alta produtividade

permite identificar quais os elementos mais limitantes, como também contribui para um diagnóstico mais preciso do estado nutricional das plantas, em relação ao critério do nível crítico e ao da faixa de suficiência (ALVAREZ et al., 1988; HOOGERHEIDE, 2005).

- d) Medição indireta da clorofila: o medidor de clorofila, também conhecido como SPAD, fornece leituras que correspondem ao teor do pigmento presente na folha. Os valores são calculados com base na quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda nas quais a absorção pela clorofila é diferente (MALAVOLTA et al., 1997). Este método tem sido usado principalmente para medir o teor de N na folha, visto que há uma estreita relação entre os teores de N e de clorofila na folha (VAN DEN BERG; PERKINS, 2004; TORRES NETTO et al., 2005).
- e) Método bioquímico: é baseado na premissa que havendo a deficiência de um determinado nutriente, os processos metabólicos nos quais o nutriente participa serão reduzidos. Os principais testes bioquímicos que podem ser adotados para o diagnóstico nutricional de N são o teor de asparagina, a atividade da síntese de glutamina, a atividade de nitrato redutase e a redução de NO_3^- , N amínico e N total (DECHEN; NAVA; BATAGLIA, 2007).
- f) Sistema de visão computacional ou artificial: pode ser definido como um conjunto de métodos e técnicas, por meio de sistemas de computador, que são capazes de interpretar imagens (PUNAM et al., 2001). São tipicamente constituídos pelas etapas: aquisição, segmentação de imagens, extração de características e classificação/identificação (BRUNO, 2000; GONZALEZ; WOODS, 1993).

2.2 Nutrição com Nitrogênio, Fósforo e Potássio

2.2.1 Nitrogênio (N)

O N é nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas. Para obtenção do N é necessário a quebra da ligação trivalente e sua combinação com hidrogênio para formar amônia (NH_3). Para derivar as fontes tradicionais são utilizados combustíveis fósseis, que se torna um problema devido ao alto custo e potencial de risco de contaminação ambiental, dessa forma, a possibilidade do uso de fontes alternativas renováveis e de menor potencial poluente

como biomassa moderna e hidroelétrica tem grande importância. Por outro lado, a Fixação Biológica do N (FBN) é um processo bioquímico que o N atmosférico é incorporado diretamente às plantas após ser transformado em amônia. Essa reação é realizada por micro-organismos do solo, denominado diazotróficos em associação com plantas superiores (VITTI; HEIRINCHS; 2007).

Além de fontes alternativas, também vem sendo utilizados fertilizantes de liberação lenta e controlada. São produtos com propriedades de dissolução mais lenta no solo que podem ser obtidos mediante a mudança na estrutura dos compostos nitrogenados ou através do recobrimento do fertilizante por materiais pouco permeáveis (TRENKEL, 1997).

Os fertilizantes nitrogenados derivam da amônia, estando disponíveis no mercado: Nitrato de amônio NH_4NO_3 , com concentração de 34% de N, Sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, com concentração de 21% de N e 24% de S, Uréia NH_2CONH_2 , com concentração de 46 % de N e solução uréia nitrato de amônio (URAN) com concentração de 32% de N sendo este ultimo em forma líquida (FRANCO; NETO, 2007).

As raízes podem absorver o N nas seguintes formas como N_2 , no caso das plantas que fazem fixação biológica (FBN); NH_4^+ da solução do solo ou do adubo; NO_3^- do fertilizante ou da nitrificação, também da solução do solo, sendo esta a forma predominantemente absorvida; uréia, aminoácidos resultantes da hidrólise das proteínas da matéria orgânica ou do adubo orgânico aplicado, bem como do resto da cultura. A uréia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ é o adubo nitrogenado mais usado em todo o mundo. No solo, sua decomposição pela urease, enzima ativada pelo níquel, que a decompõe em CO_2 e NH_3 (KHAN et al., 1999).

Já as folhas são capazes de absorver N nas formas gasosas NH_3 (PING et al., 2000) e dióxido de N (NO_2) (SPARKS et al., 2001), NH_4^+ , NO_3^- , uréia e aminoácidos (FURUYA; UMEMIYA, 2002). Por outro lado, dependendo da relação entre as concentrações internas (na planta) e externas (atmosfera ao redor) das formas voláteis de N, a cultura pode perder N em quantidades que chegam a 81 kg por hectare (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

O mecanismo de absorção radicular pode ser por contato, em que a forma predominantemente absorvida pela planta nas condições do solo é NO_3^- , que entra em contato com a raiz quase que exclusivamente por fluxo de massa, ou seja, pelo caminamento da solução do solo a favor do gradiente de umidade (BARBER, 1984), ou pela cinética enzimática transporte transmembrana. A absorção de NO_3^- é um processo ativo que necessita de introdução de energia no sistema (ULLRICH; NOVACKY, 1990).

Segundo Fancelli (2005), a contribuição relativa dos mecanismos de absorção ao contato entre nutrientes e raízes das plantas é: interceptação radicular N e P 1%, K 2%, fluxo de massa 99%, P 5% e K 20 %, já por difusão zero para N, P 94% e K 78%.

A absorção de diferentes nutrientes depende da evapotranspiração que é governada pela dinâmica da atmosfera (dependente da temperatura, umidade relativa do ar, vento, radiação solar, altitude, continentalidade, latitude e nebulosidade). A água que flui da planta serve para manter a temperatura adequada à atividade enzimática (22°C a 28°C) e fornecer a quantidade de nutrientes necessária para seu metabolismo e funcionamento. Além disso, a água participa do transporte de metabólitos e se constitui no meio que ocorrem reações químicas (FANCELLI; TSUMANUMA, 2007).

A corrente transpiratória carrega N para parte aérea principalmente através do xilema, enquanto o floema representa a via maior para o caminhar dos elementos aplicados nas folhas na direção de outros órgãos, inclusive raízes. Como regra geral N entra na planta de forma altamente oxidada, (+5 para NO_3^-). Na maioria dos compostos orgânicos eles aparecem na forma reduzida -3, tendo que passar pelo processo de redução assimilatória sendo reduzido de forma mineral, o glutamato é porta de entrada para N nos compostos orgânicos (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

Segundo Fancelli (2000a), os sintomas de deficiência de N no milho são amarelecimento das folhas mais velhas, formando um "v" invertido, morte prematura de folhas e/ou plantas, espigas pequenas, com extremidades achatadas e grãos com baixa densidade, colmos finos e aumento da taxa de tombamento de plantas.

A importância nutricional deste nutriente está associado ao crescimento vegetativo das plantas, por participar ativamente da fotossíntese e da síntese de proteína (FANCELLI 2000a) e estimular formação e desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, maior vegetação e perfilhamento e aumentar o teor de proteínas (MALAVOLTA et al., 1989).

O N pode mostrar interação com outros elementos e entre eles, sua presença ou suprimento pode provocar aumento (sinergismo) ou diminuição (inibição, antagonismo) no teor de outros elementos e reciprocamente. Casos mais comuns de sinergismo são: N x S, N x Ca, N x Mg, N x Zn, N x Cu, N x Mn, casos de antagonismo são N x B, N x S- SO_4 (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

Tanto a colheita como a qualidade do produto podem ser influenciados pelo N. Em cereais a aplicação do N pode provocar mudanças na proporção das quatro principais proteínas (albuminas, globulinas, polaminas e glutelinas). Como regra geral, mais N quer dizer mais proteína nos grãos. A adubação nitrogenada melhora a qualidade do milho

aumentando o nível de zeína. O N é importante também no mecanismo de defesa contra doenças. As plantas sadias contêm uma grande variedade de metabolismos secundários, muitos dos quais contêm N em sua estrutura, podem estar ativos biologicamente ou armazenado como precursores inativos que são convertidos na forma ativa pela ação de enzimas em resposta ao ataque do patógeno ou praga (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

2.2.2. Fósforo

O P é um componente vital para todos os seres vivos. No corpo humano é o segundo nutriente mineral mais abundante. A quantidade de P exigida por culturas altamente produtivas é grande, porém entre os macronutrientes primários é o menos exigido. A deficiência de P tem impactos amplos como pequeno desenvolvimento de raízes e brotações (STAUFFER; SULEWSKI, 2004). Existe um paradoxo entre a natureza essencial do P para a vida e sua disponibilidade limitada na natureza (GLASS; BEATON; BOMKE, 1980). A fertilidade natural em P em qualquer local existe devido a intemperização do mineral primário apatita. O processo de proteção ambiental da natureza consiste em manter baixo o nível de P disponível para a planta por meio de fixação inorgânica e imobilização microbiana em composto orgânicos (STAUFFER; SULEWSKI, 2004).

Mais de 99 % dos fertilizantes fosfatados são produzidos a partir de reservas de rochas fosfáticas e apenas uma quantidade muito pequena é fornecida na forma de escórias básicas, um subproduto do aço. Os minerais que compõem as rochas fosfáticas são basicamente formados por dois grupos: as apatitas, que são fosfatos de cálcio contendo OH, F e Cl e as fosforitas, que são fosfatos de cálcio com substituição parcial do P_4^{-3} por CO_3^{2-} , Mg e Na (LOPES; SILVA; BASTOS, 2004).

A absorção radicular do P pode acontecer por contato, onde o P na solução do solo alcança a raiz quase exclusivamente por difusão, processo segundo o qual o elemento caminha curtas distâncias numa fase aquosa estacionária, denominada solução do solo, a favor do gradiente de concentração (MALAVOLTA, 2004). Segundo Malavolta et al. (1997), o caminho mais comum é: solução – espaço intercelular ou parede – plasmalema – citoplasma – tonoplasto – vacúolo. Os principais fatores da planta que influenciam a absorção são: genética, nível de P no floema, nível de P e de carboidratos na raiz e micorrizas. Os fatores do meio que influenciam a absorção são retenção de P no solo, concentração externa, pH, temperatura e O_2 . (MALAVOLTA, 2004). Conforme Franke (1967), a absorção foliar de P e

de outros elementos se faz em três passos, depois de sua deposição na superfície folha: os nutrientes penetram a cutícula lipídica e as paredes das células epidérmicas por difusão, são absorvidos na superfície do plasmalema, os nutrientes passam através da membrana plasmática e entram no citoplasma. Os fatores que influem na absorção foliar de nutrientes são umidade do solo, umidade atmosférica, temperatura, luz, concentração do íon, superfície foliar, pêlos, epiderme superior e inferior, hidratação da cutícula, idade da folha, espécies e variedades (ALEXANDER, 1986).

O transporte do P pode ser definido, de modo não ambíguo, como o movimento do elemento do lugar de absorção (raiz, folha, ramo) para outro qualquer, existem dois espaços a considerar dentro do órgão de absorção e fora dele (MALAVOLTA, 2004).

O P é um não metal, de número atômico 15 e massa atômica aproximada de 31. Muito da sua química em solos está relacionado com o ácido ortofosfórico, comumente chamado de ácido fosfórico, um dos compostos de P conhecido há mais tempo (COTTON; WILKINSON, 1966). São conhecidos fosfatos da maior parte dos metais. Alguns deles tem grande importância comercial, com destaque para os fertilizantes fosfatados. Os minerais de P encontrados na natureza são todos ortofosfatos, sendo o principal a fluorapatita (RAIJ, 2004).

A principal fonte de P são as rochas fosfáticas, que continuam um recurso natural não renovável, sem sucedâneo, finito e que, por isso, precisa ter seu uso maximizado. Estima-se que as reservas mundiais de P se esgotarão nos próximos 80 anos (ISHERWOOD, 1999). Em termos globais mais de 75% do P aplicado é perdido ou fica retido no solo.

A absorção se dá pela entrada do nutriente (fosfato H_2PO_4^-) da solução do solo para a raiz da planta, atingindo o citoplasma. O caminho percorrido pelo íon na absorção radicular é resumidamente: P solução do solo $\rightarrow$ P apoplasto $\rightarrow$ P citoplasma. A ocupação do apoplasto se dá por processos físicos e físico-químicos, como difusão e trocas iônicas, processo esse chamado de absorção passiva. Já para ocupação do simplasto, o nutriente deve atravessar a membrana celular contra o gradiente de concentração e com gasto de energia metabólica, sendo denominado absorção ativa (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Micorrizas são associações mutualistas resultantes da co-evolução das plantas e certos fungos na luta pela sobrevivência no habitat terrestre. Os benefícios são mútuos, destacando-se o fornecimento de fotoassimilados da planta hospedeira para o fungo e transferência de nutriente minerais (P) absorvidos do solo pelo fungo para a planta (SIQUEIRA; ANDRADE; FAQUIN, 2004).

As fontes de P para utilização na agricultura são os superfosfatos simples e triplo, ambos fosfatos monocálcicos, os fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP) e alguns

fertilizantes complexo (N, P e K no mesmo grânulo) em mais de 90 % do P total solúvel em citrato neutro de amônio (CNA) dissolvem rapidamente no solo e são praticamente equivalentes quanto à capacidade de fornecimento de P para as plantas (MARTINHÃO; SOUSA; LOBATO, 2004).

A exigência da cultura do milho por nutrientes não pode ser inferida somente a partir da extração total, principalmente pela existência de picos de máxima absorção pela planta. Faz-se necessário o conhecimento de marcha de absorção dos nutrientes em função do tempo para prever como e quando deverão ser feitas as adubações (COELHO; ALVES, 2004).

O P e o N apresentam muitas similaridades no padrão de distribuição nas diferentes partes da planta de milho. A planta continua absorvendo P do solo até o próximo da maturação fisiológica dos grãos sem declínio aparente nos diferentes estádios fenológicos (COELHO; ALVES, 2004).

A importância nutricional deste nutriente está associado a aceleração da formação de raízes, aumento da frutificação, maturação dos frutos, aumento do teor de carboidrato, óleos, gorduras e proteínas e ajuda na fixação simbiótica de N (MALAVOLTA et al., 1989).

A deficiência de P tem os seguintes sintomas visuais folhas velhas com tons de roxo perto das margens, tons roxo no colmo, má granação (MALAVOLTA et al., 1989). Ferreira (2012) estudando omissões nutricionais no milho verificou implicações no crescimento e coloração roxa nas folhas mais velhas seguida de necrose no tecido.

2.2.3 Potássio

De acordo com Malavolta (2006), o potássio (K) é ativador enzimático de pouco mais de meia centena de enzimas envolvidas em rotas bioquímicas como: translocação de açúcares; abertura e fechamento dos estômatos; regulação osmótica; fotossíntese.

O K é absorvido pelas plantas da solução do solo na forma iônica K^+ . A absorção depende, principalmente, da difusão do elemento através da solução do solo e, em proporção menor, do fluxo de massa. Admite-se que o teor trocável corresponde ao que está disponível para as plantas, sendo a principal fonte de reposição do K da solução, que é aquele absorvido pelas plantas (RAIJ, 2011).

Existe certo equilíbrio entre essas formas de K no solo. As plantas absorvem este nutriente da solução do solo, o qual é tamponado pelas formas trocáveis, que são repostas pelas formas não trocáveis e estruturais (MELO et al., 2003). O equilíbrio mais importante é

entre o K trocável e o K na solução, cujo somatório prático é considerado como K disponível que são fonte imediata de K para as plantas (MIELNICZUK, 1982).

Segundo Raij (1982) as formas de K podem ser esquematizadas como

K não trocável $\rightarrow$ K trocável $\rightarrow$ K em solução $\rightarrow$ K planta
 K não trocável $\leftarrow$ K trocável $\leftarrow$ K em solução $\leftarrow$ K planta

A fração analisada do solo é o K trocável. Como qualquer cátion trocável é a porção do elemento que ocorre adsorvida às cargas elétricas negativas dos colóides minerais e orgânicos do solo (NACHTIGALL; RAIJ, 2005).

A movimentação na planta dentro da raiz, desta para a parte aérea, dentro desta e desta para a raiz é permitida ou facilitada pelo fato de que, diferentemente dos outros elementos, o K se encontra nos tecidos em maior proporção na forma iônica (MALAVOLTA, 2005).

O K, depois do N, é o nutriente que é absorvido em maiores quantidades e, requer um padrão de suprimento diferente em relação ao N e o P, com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias, com taxa superior ao de nitrogênio e fósforo, sugerindo maior necessidade de K na fase inicial como um elemento de "arranque" (COELHO, 2007). Quando a planta de milho acumula 50% de matéria seca (65 a 70 dias), absorveu cerca de 90 % de sua necessidade total de K (COELHO, 2005).

A absorção radicular se dá pelo contato do K com a raiz, podendo ser por três processos diferentes: interceptação radicular: ao se desenvolver, a raiz encontra o K da solução do solo, quer seja natural ou adicionado como adubo; fluxo de massa: o K caminha no solo em uma fase aquosa móvel, a solução do solo, a favor do gradiente de umidade, isto é, de uma região mais úmida e distante da raiz para outra mais seca e próxima da raiz; difusão: o K^+ se movimenta no solo dentro de uma fase aquosa estacionária, a mesma solução do solo, a favor do gradiente de concentração, ou seja, de uma região de maior concentração para outra de menos concentração na superfície da raiz. Já quanto a absorção foliar, há poucas evidências pois na prática, o que se faz quase exclusivamente é o fornecimento dos adubos potássicos via solo, de onde as raízes absorvem a quantidade necessária para cultura. Da mesma forma que acontece a absorção pela raiz, o primeiro passo para entrada do K^+ na folha, ou de qualquer outro elemento, é o contato com a epiderme, o que se faz mediante o molhamento, e é tanto maior quanto for a tensão superficial da solução. Daí por diante, o caminho percorrido é semelhante: apoplasto; em seguida, absorção propriamente dita, com travessia do plasmalema, entrada no citoplasma, passagem pelo tonoplasto e entrada feixes vasculares (MALAVOLTA, 2005).

A deficiência de K resulta no aparecimento de clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas seguidas por secamento, necrose (“queima”) e dilaceração do tecido; os colmos apresentam internódios mais curtos; as folhas mais novas podem mostrar clorose internerval típica da falta de Fe e também apresentar acamamento de plantas devido ao quebramento do colmo (COELHO, 2005).

Em milho, os nutrientes têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos. O K, ao contrário do N e P, apresenta menor taxa de exportação nos grãos, com valores que variam de 26% a 43% do total absorvido pelas plantas (FERNANDES et al., 1999).

As fontes de K podem ser os fertilizantes minerais solúveis. Dentre eles, o cloreto de K (KCl) predomina na agricultura brasileira (DIAZ-ZORITA; DUARTE; BARRACO, 2004)

A importância nutricional deste nutriente está associado a estimulação da vegetação e perfilhamento (gramíneas), aumento do teor de carboidrato, óleos, gorduras e proteínas, estimula o enchimento de grãos, diminuindo chochamentos; promove armazenamento de açúcar e amido, ajuda a fixação simbiótica de N, aumenta a utilização de água e aumenta a resistência a secas, geadas e moléstias (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989).

2.3. Transgênicos

2.3.1 Histórico

A evolução dos cultivares de milho no Brasil se deu pelo primeiro programa de milho híbrido, que teve início no Instituto Agrônomo de Campinas em 1932. A partir desse trabalho, Krug e colaboradores produziram, em 1939, o primeiro híbrido brasileiro de milho. Paralelamente na atual Universidade Federal de Viçosa, G. A. Drummond e A. Secundino S. José desenvolveram híbridos utilizando linhagens das variedades Cateto e Amarelão (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

O método de exploração do vigor de híbrido que revolucionou o melhoramento de milho, completa, portanto, no final do último milênio, cerca de 70 anos de trabalho no Brasil. Nesse período houve grande evolução em todos os setores da ciência e podem ser constatadas mudanças significativas nos híbridos disponíveis atualmente aos agricultores, em relação à situação existente na década de 1940 (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

A grande mudança ocorrida na arquitetura de plantas, resultado do abaixamento do porte, maior proporção de grãos em relação à matéria seca no colmo e abaixamento da inserção da espiga, resultou em plantas mais eficientes e produtivas, com menor percentagem

de acamamento e adaptadas à colheita mecânica. Por outro lado, o desenvolvimento de genótipos eficientes e responsivos a melhorias de ambiente tornou possível a mudança de patamar de produtividade das cultivares lançadas pela indústria de sementes (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2009).

Na safra 2010/11, foram disponibilizados 362 cultivares de milho convencionais. Entre elas, 71 novas cultivares ou que não foram listadas na safra anterior (12 variedades, 1 híbrido intervarietal, 10 híbridos duplos, 16 híbridos triplos e 32 híbridos simples) substituíram 34 cultivares (1 variedade, 4 híbridos duplos, 9 híbridos triplos e 20 híbridos simples) que deixaram de ser comercializadas na safra atual, mais uma vez demonstrando a dinâmica dos programas de melhoramento, a evolução do nível tecnológico da cultura e a importância do uso da semente no aumento da produtividade (EMBRAPA, 2010).

Na safra 2011/2012, 19 cultivares de milho transgênicos deixaram de ser comercializadas (14 híbridos simples e 5 híbridos triplos) e 51 novas versões transgênicas foram acrescentadas ao mercado (40 híbridos simples, 4 híbridos simples modificados e 7 híbridos triplos) mostrando a grande dinâmica na substituição de cultivares de milho no mercado. As cultivares transgênicas atualmente no mercado são resultantes de cinco eventos transgênicos para o controle de lagartas: 50 cultivares contém o evento MON 810 - marca registrada YieldGard; 41 apresentam o evento TC 1507 marca Herculex I; 17 apresentam o Agrisure TL conhecido como Bt11; 4 apresentam o evento MON 89034 e 2 apresentam o evento MIR162. Existem no mercado dois eventos transgênicos que conferem resistência ao herbicida glifosato aplicado em pós-emergência: o evento NK603 Milho Roundup Ready 2 e o evento GA21. Treze cultivares transgênicas apresentam o evento NK603, mas o evento GA 21 só aparece associado ao evento Agrisure TL – conhecido como Bt11 em uma cultivar. Oito cultivares transgênicas são resistentes a insetos da ordem lepidóptera e tolerantes ao herbicida glifosato (quatro apresentam os eventos Milho TC1507 x NK603 e quatro apresentam os eventos Milho MON810 x NK603) (EMBRAPA, 2010).

2.3.2 Caracterização das tecnologias

A tecnologia Yieldgard®, desenvolvida com a introdução do gene *cry1Ab* proveniente da bactéria do solo *Bacillus thuringiensis* (Bt), possui o gene *cry1Ab* que codifica para a proteína Cry1Ab, uma deltaendotoxina. O MON 810 expressa essa proteína numa dose efetiva durante o ciclo da cultura, controlando as lagartas do milho (GALVÃO; MIRANDA, 2004). Este evento controla a broca-do-colmo (*D. saccharalis*) e causa uma supressão no

desenvolvimento da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e da lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*). Caracteriza-se pela expressão da proteína Cry1Ab em seu tecido, durante todo o ciclo da cultura. A expressão contínua da proteína Cry1Ab nos tecidos da planta é uma importante característica desta tecnologia, uma vez que múltiplas gerações de pragas infestam o milho em distintos estádios fenológicos da cultura. A lagarta, ao ingerir esta proteína, tem seu tubo digestivo afetado, ocorrendo a indução de ruptura das membranas do sistema gástrico do inseto, fazendo com que ele pare de se alimentar e morra em pouco tempo (YIELDGAR, 2009).

Estas pragas podem reduzir o rendimento e qualidade da produção na cultura do milho. Como exemplo, tem-se a lagarta-do-cartucho que promove a destruição de folhas e cartucho, podendo comprometer a produção de grãos em até 40%. A lagarta-da-espiga e a broca-do-colmo também trazem prejuízos consideráveis à cultura, pois os potenciais de danos são de 8% e 21%, respectivamente. A lagarta-da-espiga e a broca-do-colmo, ao iniciarem o processo de alimentação nos estilo-estigmas e folha/bainha, respectivamente, ingerem a proteína Cry1Ab, presente no tecido vegetal do milho YieldGard®. As espigas no milho YieldGard® apresentam melhor qualidade de grãos, pois a lagarta é controlada na fase inicial, na ponta da espiga. Assim, os grãos são poupados do dano direto, bem como da ação de patógenos oportunistas. A proteção do colmo do ataque de *D. saccharalis* faz com que a planta tenha melhor qualidade de colmo, comparativamente ao milho convencional. Desta forma, a planta pode ser mais eficiente na condução de água e nutrientes da base para as folhas, permitindo-se assim, a melhor expressão do potencial produtivo do híbrido (YIELDGAR, 2009).

O evento TC1507 contém o gene *cry1F* que efetivamente controla pragas importantes para cultura do milho como lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), broca-do-colmo (*Diatraea saccharalis*) e lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*). A modificação ocorrida no milho foi via técnica de DNA recombinante (rDNA), para expressar uma proteína inseticida cristalizada, também como delta-endotoxina, de *Bacillus thuringiensis var aizawa*. Além do gene *cry1F*, o gene *pat*, que codifica a enzima fosfitricina acetiltransferase (PAT) e confere tolerância ao glufosinato de amônio, no evento das variedades de milho, conhecido como HERCULEX I (CARNEIRO, 2008).

O milho Bt11 foi desenvolvido para ser resistente às lagartas, produzindo seu próprio inseticida biológico. Esse evento foi obtido com a introdução do gene *Cry1Ab*, à semelhança do milho MON 810. Adicionalmente à resistência a lagartas, o Bt11 possui uma cópia do gene de resistência ao glufosinato de amônio, Pat, isolado do fungo *Streptomyces*

viridochromogenes. Este gene codifica para a produção da enzima fosfinotricin-N-acetiltransferase (PAT) a qual confere tolerância AP glufosinato. A enzima PAT do milho Bt11 converte L-fosfinotricina (PPT), o ingrediente ativo do glufosinato de amônio, em uma forma inativa. Esse gene foi introduzido como marcador para seleção de células transformadas durante o processo de transformação genética. A avaliação de segurança alimentar do milho Bt11, contendo o *gene cryIF* e *pat*, evidenciou que ele é tão seguro quanto milho convencional (GALVÃO; MIRANDA, 2004). O Bt11 apresentado como Agrisure TL possui tecnologia capaz de agir no controle de uma das principais pragas do milho: a lagarta. Com eficiência, ela combate a lagarta-do-cartucho, lagarta-da-espiga e broca-da-cana (GRUPO CULTIVAR, 2009).

O gene inserido nas variedades tolerantes ao glifosato é denominado *cp4 epsps*, sendo sua função codificar a enzima CP4 EPSPS, que confere a tolerância a este herbicida. Tal característica foi obtida pela inserção de um gene da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato síntese (EPSPS) oriundo da bactéria *Agrobacterium* spp., que é exatamente o composto bloqueado pelo herbicida, o qual impede o desenvolvimento das plantas. Esta enzima CP4 EPSPS não é bloqueada pelo glifosato, permitindo o crescimento normal das plantas quando pulverizadas com o produto. Linhagens e híbridos que possuem o gene *cp4 epsps* para tolerar a ação do glifosato permitem a aplicação deste herbicidas, em pós emergência às plantas daninhas e à cultura (GALVÃO; MIRANDA, 2004).

O milho MON89034 produz as proteínas Cry1A.105 e Cry2Ab2 derivadas do *Bacillus thuringiensis*, os quais são ativas contra lepidópteros-praga importantes nesta cultura. A proteína Cry1A.105 é uma proteína com peso molecular de 133KDa. É uma proteína quimérica, que consiste dos domínios I e II das proteínas Cry1Ab ou Cry1Ac, do domínio III da proteína Cry1F e do domínio C-terminal da proteína Cry1Ac. A proteína Cry2Ab2 produzida no milho MON89034 é também derivada do *B. thuringiensis* e compartilha de 99,8% da identidade com a proteína selvagem Cry2Ab2, diferindo apenas em um único aminoácido. O milho MON89034 fornece controle eficaz contra a lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, durante toda a safra, proteção significativa contra a *Helicoverpa zea* (lagarta da espiga) e um elevado grau de controle de espécies de *Ostrinia*, de *Diatraea*, broca asiática e broca européia do milho. No Brasil os insetos alvo são a lagarta do cartucho, lagarta da espiga e a broca do colmo (VALICENTE, 2009).

2.3.2.1 Pragas alvo MON 89034 (DKB390 PRO)

Atualmente, a praga mais importante no milho no Brasil é a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) que, em condições climáticas favoráveis, aumenta sua população, consumindo estruturas da planta e comprometendo a produção de grãos (PENCOE; MARTIN, 1981; PINTO; PARRA; OLIVEIRA, 2004). Após a eclosão, as lagartas iniciam o processo de alimentação raspando as folhas jovens do milho. Com o crescimento da lagarta, há maior consumo foliar, ocorrendo maior injúria nas folhas (destruição do cartucho). Nos últimos anos tem sido comum observar *S. frugiperda* cortando plântulas e também infestando partes reprodutivas da planta (pendão e espiga) (PINTO; PARRA; OLIVEIRA, 2004). As perdas são variáveis, podendo chegar a 40% (CARVALHO, 1970; CRUZ, TURPIN, 1982; CARNEVALLI; FLORCOVSKI, 1995; CRUZ; FIGUEIREDO; MATOSO, 1999). Segundo Cruz, Figueiredo e Matoso (1999) as perdas estimadas em função das infestações de *S. frugiperda* no Brasil eram, na época, da ordem de 400 milhões de dólares por ano.

Além de *S. frugiperda*, mais duas espécies de lepidópteros-praga são comumente encontradas na cultura do milho: a lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*) e a broca-do-colmo (*Diatraea saccharalis*). A lagarta-da-espiga oviposita nos estilo-estigmas das plantas de milho. As lagartas recém-eclodidas iniciam a alimentação nos estilo-estigmas podendo ocasionar falhas na produção de grãos nas espigas. À medida que as lagartas se desenvolvem dirigem-se para o interior das espigas, onde se alimentam dos grãos ainda em fase de formação. O orifício de saída construído pela lagarta permite o aparecimento de doenças nas espigas, causando podridões (PINTO et al., 2004) Os prejuízos provocados pelo ataque deste inseto são estimados em 8% dos rendimentos (CRUZ et al., 2006).

Segundo Vendramim e Fancelli (1988) e Pinto, Parra e Oliveira (2004) as lagartas de *D. saccharalis*, por sua vez, após a eclosão, alimentam-se das folhas e se dispersam em direção às bainhas. Elas penetram no colmo, abrindo galerias de baixo para cima, onde completam o seu desenvolvimento.

Na cultura do milho, o ataque de *D. saccharalis* também é caracterizado por danos diretos e indiretos. Os danos diretos podem ser observados no quebramento de colmos devido a injúria causada pela broca, e também em falhas no enchimento de grãos devido ao ataque nas espigas. Os danos indiretos se relacionam à infecção dos colmos e espigas de milho por micro-organismos e à menor translocação de água e nutrientes. Na ocorrência de ataques intensos, as plantas podem secar precocemente se tornando improdutivas. Quando a infestação ocorre na fase de espiga, esta pode aparecer com furo na base, ou com grãos

danificados e sabugo perfurado. A broca-do-colmo pode causar perdas de até 21% na produção (CRUZ et al., 2006).

O controle da lagarta-do-cartucho *S. frugiperda* é normalmente feito com inseticidas, os quais nem sempre são eficientes. Esta medida é dificultada pelo hábito da praga, que, permanecendo dentro do cartucho das plantas, dificulta o contato com os inseticidas. Além disso, com a aplicação de defensivos agrícolas, ocorre a redução de inimigos naturais, principalmente por produtos de amplo espectro, favorecendo a ressurgência da lagarta (GASSEN, 1996). Portanto, é desejável a associação de táticas de controle de pragas, visando aspectos econômicos, porém, sobretudo, poupando o meio ambiente de impactos negativos à flora e à fauna.

Há pragas cujo controle por métodos convencionais é dificultado devido ao comportamento biológico das mesmas. *S. frugiperda* tem por hábito estar presente no interior do “cartucho do milho”, o que dificulta o seu controle por meio de uso inseticida químicos. Uma vez que a proteína Cry1A.105 e Cry2Ab2 está presente em todas as partes da planta de milho, as lagartas alvo da ação de Cry1A.105 e Cry2Ab2 ao se alimentarem são afetadas pelas proteínas, conforme apresentado anteriormente.

Comparando-se com a safra 2008/09, que foi a primeira em que o Brasil comercializou oficialmente milho geneticamente modificado, isto é, semente de milho transgênico, houve um grande avanço, o que indica necessidade de ajuste no sistema de produção (EMBRAPA, 2009).

2.4. Custos

A utilização de insumos agrícolas para incremento da produção pode acarretar gastos intensivos, podendo o produtor, ser surpreendido com os cálculos na colheita dos grãos. Por isso, identificar os tipos de custos e classificá-los conforme a sua natureza constitui passo importante para o cálculo dos custos de produção. Outro passo a ser seguido é atribuir desempenho às práticas culturais por meio dos coeficientes técnicos e identificar os encargos financeiros que envolvem o processo de produção (SILVA, 1995; REIS, 1997; ANTUNES, RIES, 1998).

Os custos de produção variam de uma propriedade para outra, em função de particularidades, como fertilidade dos solos, topografia, tipo de máquinas utilizadas, nível tecnológico e até mesmo aspectos administrativos, o que torna diferenciada a estrutura dos custos de produção (RICHETTI; MELO FILHO; PARIZOTO, 1996).

Estudos de custos de produção possibilitam uma análise da situação econômica da propriedade. Comparando-se os custos médios com a receita média obtida pelo produtor, pode-se concluir a respeito das condições econômicas do investimento e concluir se o produtor deve expandir, permanecer como está, reduzir ou paralisar com a atividade (REIS, 1987).

A produção mínima necessária para cobrir os custos totais e contribuir para a formação do lucro é o ponto em que a empresa não realiza lucro nem prejuízo, também conhecido como ponto de equilíbrio. Este é representado pelo número de unidades que devem ser produzidas (sacas de 60 kg, no caso do milho), levando-se em conta um valor de comercialização pré-determinado. O ponto de equilíbrio é válido para a previsão de orçamento. Porém, não é garantido o retorno dos recursos investidos. A lucratividade é um índice que representa, em percentual, qual foi o lucro obtido em determinada atividade ou na empresa rural com a venda dos produtos desenvolvidos, ou seja, o quanto cada produto deixa de resultado, após ser descontado o valor dos custos para sua elaboração (SANTOS, 1996; ANTUNES; RIES, 1998).

Os custos de produção do milho convencional versus o milho Bt para região de São Paulo em 2010 com uma produção de 10.000 kg/ha esta apresentado na Tabela 5.

Atualmente, em muitos países, grandes e pequenos produtores usufruem dos benefícios do milho desenvolvido pela Biotecnologia, também chamado de geneticamente modificado (GM) e apresentam maior competitividade, principalmente considerando a diminuição do número de aplicações de agroquímicos (QAIM; MATUSCHKE, 2005). Segundo James (2003a e 2003b), experimentos em campo realizados no Brasil obtiveram um ganho médio em produtividade para o milho Bt (*Bacillus thuringiensis*) em torno de 16 a 24% quando comparado ao milho convencional.

Tabela 5: Custos de produção do milho convencional versus o milho Bt para região de São Paulo em 2011 com uma produção de 10.000 kg ha⁻¹

Descrição	Milho convencional	Milho Bt
Custo total (R\$/ha)	1251,40	1360,52
Receita (R\$/ha)	1645,00	1809,50
Preço médio (R\$/SC 60 Kg)	23,50	23,50
Resultado	393,60	448,98
Margem sobre venda	23,93%	24,81%

Fonte: Agrianual (2012)

Na Argentina, James (2003a) analisou que a produtividade de milho Bt foi em média 10% superior que às plantas de milho convencional. Estudos realizados no cinturão do milho

nos Estados Unidos avaliando o impacto do milho *Bt* verificaram um ganho em produtividade das plantas transgênicas na ordem de 5 a 12 % (MARRA; PARDEY; ALSTON, 2002).

Segundo Borchgrave (2002), com a adoção do milho geneticamente modificado, os agricultores contariam com um aumento de 5% na produtividade e economizariam 50% em inseticidas.

A utilização do milho *Bt* também causou impactos positivos sobre a produtividade, sobre o lucro e sobre os custos de produção. Mas a amplitude desses impactos variou em função da incidência de pragas em cada região (BROOKES, 2002).

Como no caso do algodão, a redução nos custos da produção de milho convencional também está diretamente relacionada com a intensidade em que é aplicado inseticida. O estudo de Brookes (2002) comparou os custos das duas principais regiões produtoras de milho na Espanha — Sarinena e Barbastro. Na região de Sarinena, onde o uso de inseticidas era intenso, a redução do custo total de produção foi de 23,5% em média. Em alguns casos, chegou a 83,5%. Já na região de Barbastro, onde o uso de inseticidas era muito reduzido, a adoção do milho *Bt* causou um aumento de 18,5% no custo total de produção, porque os custos mais elevados com sementes não foram compensados com a redução dos custos com inseticidas.

Os ganhos dos cultivos de OGM são derivados da redução do custo de uso de defensivos e da diminuição da perda de produtividade causada pela infestação de pragas. No caso de materiais com *Bt*, o retorno em termos de produtividade são maiores nos anos em que as infestações são mais agudas e menores em anos em que as infestações são mais baixas (FERNANDEZ-CORTEJO; MCBRIDE, 2000; MARRA; CARLSON; HUBBELL, 1998).

Por outro lado, a redução nos custos devidos ao uso de inseticida acontece. Porém, o volume desta redução não é tão grande. No entanto, a literatura indica que esta redução, quando combinada com o aumento da produtividade, tem sido mais que suficiente para cobrir os custos adicionais com a elevação do preço da semente *Bt* (DUARTE, 2001; FERNANDEZ-CORTEJO, MCBRIDE, 2000; HYDE et al., 1999). A utilização do milho *Bt* resultou em uma modesta redução dos custos de aplicação de inseticidas, porém, os retornos do aumento da produtividade do milho *Bt* foram expressivos (MARRA; CARLSON; HUBBELL, 1998).

Além dos ganhos em produtividade, a utilização de culturas geneticamente modificadas proporciona uma menor utilização de defensivos químicos. Segundo Borchgrave (2002), a adoção da soja e do milho geneticamente modificados tolerantes ao glifosato na agricultura brasileira resultaria em uma economia de cerca de 50% no uso de herbicidas. Já

com a utilização do milho Bt, os agricultores contariam com um aumento de 5% na produtividade e economizariam 50% em inseticidas.

Em experimento realizado na Espanha, James (2003a) apontou que de maneira geral produtores que utilizaram o milho Bt tiveram um ganho médio de US\$ 207/ha, reduzindo ou eliminando a utilização de inseticidas em algumas áreas. Também verificaram redução de níveis de micotoxinas quando comparado a produtores que utilizaram o milho convencional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local dos experimentos

O trabalho experimental constituiu-se de seis experimentos de campo conduzidos no Talhão 120 localizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) em Pirassununga-SP.

3.2 Cultura estudada e caracterização do híbrido

A cultura estudada foi milho (*Zea mays L.*) cultivado em campo. Foram utilizados os híbridos de milho DKB390 e DKB390PRO. O híbrido DKB390 possui grãos semiduros amarelo alaranjados, bom empalhamento, colmo com alta sanidade e boa resistência ao quebramento e florescimento a 845 unidades graus dias (GDU). Altura de planta varia de 2,20 m a 2,40 m, inserção da espiga de 1,25 m a 1,49m e as folhas são semi-eretas. Tem por finalidade de uso os grãos (MONSANTO, 2013).

O híbrido DKB390PRO possui as mesmas características agronômicas que o DKB390, porém tem a tecnologia YieldGard VT PRO inserida, onde existe a produção de duas proteínas que se ligam a receptores diferentes no organismo do inseto, possuindo dois modos de ação para o controle das pragas. Assim a tecnologia garante um controle superior das principais pragas da cultura do milho (lagarta do cartucho, lagarta da espiga e broca do colmo), assegurando proteção do potencial produtivo e, consequentemente, aumento de produtividade (MONSANTO, 2013).

3.3 Caracterização da área

Os experimentos foram conduzidos em área de baixa fertilidade a fim de verificar a produtividade dos híbridos de milho e a melhor dose resposta analisando dados economicos, em área de produção com condições de cultivo comercial, visando contribuir para recomendação de adubação para novas tecnologias.

As características químicas e físicas do solo estão apresentadas nas Tabelas 6 e 7. O solo esta classificado como Neossolo Quartzarênico. A coleta do solo se deu de forma

aleatória no campo e foi composta de três sub-amostras. Com base nas análises foi feita a aplicação de $0,8 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário com o objetivo de elevar a saturação por bases (V) a 70%, conforme recomendação de Raij e Cantarella (1997)³ para a cultura do milho e, aplicados 1300 kg ha^{-1} de gesso agrícola como práticas corretivas.

Tabela 6 - Análise química do solo, realizada antes do preparo, nas camadas de 0 - 0,20 e de 0,20 - 0,40 m de profundidade

Profundidade	pH (CaCl ₂)	M.O.	P (resina)	S	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC _i	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³				%					mg dm ⁻³	
0 - 20	5,2	20	7	6	0,4	17	6	18	TR	23	41	56	TR	0,31	0,3	19	0,6	0,2
20 - 40	4,8	16	5	6	0,2	10	3	27	1	13	40	33	9	0,67	1,6	19	0,9	0,9

Tabela 7 - Análise granulométrica do solo, realizada antes do preparo do solo, nas camadas de 0 - 0,20 e de 0,20 - 0,40 m de profundidade

Profundidade	Areia	Argila	Silte
	-----g kg ⁻¹ -----		
0 - 20 cm	888	86	26
20 - 40 cm	877	90	33

O solo teve suas características químicas e físicas analisadas pelo Laboratório de Solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos em Pirassununga-SP no Departamento de Zootecnia.

Os dados pluviométricos e de temperatura média semanais no período da condução do experimento estão apresentados na Figura 1.

A cultura do milho exige um mínimo de 400 – 600 mm de precipitação pluvial para que possa manifestar seu potencial produtivo, sem a necessidade de utilização de prática de irrigação, sendo que seu uso consultivo, frequentemente, oscila entre 4 a 6 mm por dia (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). No ciclo do milho ocorreu 797,6 mm de chuva, representando uma média diária de 6,33 mm por dia, estando acima da média considerada adequada pelos autores.

Figura 1 - Dados pluviométricos semanais no período de novembro/2011 a março/2012, obtidos do Departamento de Zootecnia da FZEA-USP, Pirassununga.

3.4 Instalação dos experimentos

A preparação da área se deu pela dessecação das plantas daninhas existentes no local com herbicida Roundup Transorb® (Monsanto), onde realizou-se a aplicação de calcário que foi incorporado com uma gradagem leve. Passado dois meses foi realizada aplicação de gesso, seguido de duas gradagens. Como manejo final, antes da instalação da cultura, realizou-se aplicação em área total de herbicida Roundup Transorb® (Monsanto).

A área de plantio do milho foi estaqueada, delimitando as parcelas experimentais com medida de 4,8 x 10 m, com espaçamento entre linha de 0,8 m, perfazendo 6 linhas (Figura 2a). As parcelas foram riscadas manualmente com sacho, com profundidade de 3 a 5 cm (Figura 2b), onde foi aplicado o adubo de plantio, previamente pesado e homogeneizado de acordo com cada tratamento (Figura 2c). Em todas as parcelas foram adicionados a mesma dose de 25 kg ha⁻¹ de micronutriente na forma de fertilizante granulado Produsolo-MIB 3 Mineral Complexo com os elementos nas seguintes quantidades B-1,80%, Cu-0,8%, Mn-2,00%, Mo-0,10%, Zn-9,00% e S-3,00%. Uma fina camada de solo foi revolvida sobre o adubo e o plantio manual das parcelas foi realizado com auxílio de matracas, a fim de garantir a não mistura de híbrido e estande.

As sementes foram tratadas e separadas por linha para o plantio manual (Figura 3a). O tratamento de semente foi realizado com Cropstar - Inseticida sistêmico do grupo

neonicotinóide (Imidacloprido) + inseticida de contato e ingestão do grupo metilcarbamato de oxima (Tiodicarbe) - Bayer S.A. na dosagem de 350mL/100 kg de sementes.

Figura 2 – a) esquema da parcela experimental, b) área de plantio sulcada, estaquiada, com embalagens de adubo identificada por linha para ser aplicado; c) sulco de plantio após aplicação de adubo (Fotos: G. S. MALVESTITI).

Foram realizadas duas adubações de cobertura, uma no estágio V4 e outra V8, conforme descrito por Fancelli (2000a) que recomendou que em solos arenosos e/ou com condições favoráveis à lixiviação de N, duas aplicações são necessárias, sendo a primeira em 3ª a 4ª folha e a segunda 6ª a 8ª folha.

Os tratos culturais de herbicidas foram realizados de acordo com a rotina recomendada para milho com Atrazina - herbicida seletivo, de ação sistêmica, de pré e pós-emergência precoce do grupo químico Triazina (Nortox); Soberan - herbicida seletivo sistêmico do grupo químico Benzoilciclohexanodiona (Bayer S.A.), Gesaprin - herbicida seletivo, de ação sistêmica, do grupo químico Triazina (Syngenta Ltda.), Sanson - Herbicida seletivo de ação sistêmica, pós emergente para a cultura de milho do grupo químico sulfoniluréia (Ishihara Brasil Comercial Ltda.), nos seis experimentos.

Figura 3 – a) área adubada, com embalagens de sementes identificadas por linha, distribuídas para o plantio b) plantas de milho em estágio V8 com embalagens identificadas para realização de adubação de cobertura (Fotos: G. S. MALVESTITI).

As aplicações de inseticida foram realizadas quando o nível de dano chegou 20% de plantas convencionais atacadas (Figura 4a) conforme Cruz e Turpin (1982). A primeira aplicação de inseticida (Figura 4b) ocorreu quando as plantas atingiram o estágio de V4 e a segunda aplicação foi realizada no estágio V8. Em ambas aplicações foi utilizado o inseticida Tracer - inseticida não sistêmico de origem biológica do grupo químico das espinosinas (Dow AgroSciences Industrial Ltda.).

Figura 4 – a) Planta convencional atacada por lagarta *S. frugiperda*; b) Aplicação de inseticida no experimento Convencional (Fotos: G. S. MALVESTITI).

3.5 Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos de forma independente para cada elemento e para cada híbrido estudado, ou seja, foram conduzidos 6 experimentos (3 nutrientes e 2 híbridos).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 5 doses dos nutrientes com 4 repetições. Os fatores estabelecidos para o estudo foram constituídos por cinco níveis de fornecimento para todos os nutrientes N, P, K, sendo T1= omissão completa do nutriente N; T2= 50 kg ha⁻¹ de N; T3= 100 kg ha⁻¹ de N; T4= 150 kg ha⁻¹ de N; T5= 200 kg ha⁻¹ de N; T6= omissão completa do nutriente P; T7= 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T8= 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T9= 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T10= 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅; T11= omissão completa do nutriente K; T12= 50 kg ha⁻¹ de K₂O; T13= 100 kg ha⁻¹ de K₂O; T14= 150 kg ha⁻¹ de K₂O; T15= 200 kg ha⁻¹ de K₂O, combinados em dois híbridos, o DKB390 convencional e o DKB390PRO, totalizando 20 unidades experimentais para cada ensaio.

3.6 Experimentos

Os tratamentos dos experimentos tiveram um macronutriente testado e os outros dois macronutrientes fornecidos de acordo com a necessidade da cultura, obtida do confronto do resultado da análise de solo realizada anteriormente ao início dos manejos com a recomendação de Raij e Cantarella (1997).

As fontes dos macronutrientes que compuseram as doses utilizadas no experimento foram: para Nitrogênio – Uréia (44,6-00-00) FH Nitro Mais (Fertilizantes Heringer) tecnologia desenvolvida pela Heringer com intuito de potencializar o uso da Uréia através a utilização de inibidores de urease, reduzindo as perdas de N por volatilização. O inibidor de urease utilizado neste produto possui o benefício de além de conferir proteção contra a volatilização ser fonte de Boro e Cobre (dois micronutrientes essenciais para as plantas) (HERINGER, 2013). Para P – Super Fosfato Triplo (00-46-00), Fertilizantes Heringer e para K – KCl (00-00-60) Fertilizantes Fertiplanta.

3.6.1 Experimentos com semente de milho DKB 390

O experimento com semente de milho convencional, teve objetivo de apresentar a produtividade do híbrido sem tecnologia inserida e o custo da condução desta cultura para o produtor.

3.6.1.1 Experimento 1

O experimento 1 teve semente de milho convencional testando doses de N. Os tratamentos foram T1 = 0 (omissão do nutriente), T2 = 50% da dose completa, T3 = 100% (dose completa), T4 = 150% (dose excedente) e T5 = 200% (dose excedente). As doses somaram no total 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N parceladas em 30 kg de N no plantio, excluindo a dose zero. Na primeira cobertura para a dose zero, não houve aplicação e os outros tratamento tiveram 20, 70, 80 e 80 kg de N respectivamente. Já a segunda cobertura como as doses 0, 50 e 100 já haviam sido completadas não houve aplicações e para as doses 150 e 200 foram aplicados 40 e 90 kg de N respectivamente.

As doses dos macronutrientes P e K foram calculadas de acordo com a análise de solo baseado em Raij e Cantarella (1997). Para P a dose aplicada foi de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio e para K a dose aplicada foi 110 kg ha⁻¹ de K₂O sendo 50 kg ha⁻¹ no plantio e 60 kg ha⁻¹ na cobertura 1.

3.6.1.2 Experimento 2

O experimento 2 teve semente de milho convencional testando doses de P. Os tratamentos foram T1 = 0 (omissão do nutriente), T2 = 50% da dose completa, T3 = 100% (dose completa), T4 = 150% (dose excedente) e T5 = 200% (dose excedente). As doses somaram no total 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e todas foram aplicadas no sulco de semeadura.

As doses dos macronutrientes N e K foram calculadas de acordo com a análise de solo baseado em Raij e Cantarella (1997). Para N a dose aplicada foi de 120 kg ha⁻¹ de N sendo aplicado 30, 80 e 10 kg ha⁻¹ de N no plantio, cobertura 1 e cobertura 2 respectivamente e para K a dose aplicada foi 110 kg ha⁻¹ de K₂O sendo 50 kg ha⁻¹ no plantio e 60 kg ha⁻¹ na cobertura 1.

3.6.1.3 Experimento 3

O experimento 3 teve semente de milho convencional testando doses de K_2O . Os tratamentos foram T1 = 0 (omissão do nutriente), T2 = 50% da dose completa, T3 = 100% (dose completa), T4 = 150% (dose excedente) e T5 = 200% (dose excedente). As doses somaram no total 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K_2O parceladas em 50 kg de K_2O no sulco de plantio, excluindo a dose zero e na primeira cobertura. Para as doses 0 e 50, não houve aplicação e as outros tratamentos tiveram aplicação de 50, 100 e 150 Kg de K_2O respectivamente.

As doses dos macronutrientes N e P foram calculadas de acordo com a análise de solo baseado no em Raij e Cantarella (1997). Para N a dose aplicada foi de 120 kg ha⁻¹ de N sendo aplicado 30, 80 e 10 kg ha⁻¹ de N no plantio, cobertura 1 e cobertura 2 respectivamente e para P a dose aplicada foi de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 no plantio.

3.6.2 Experimentos semente de milho DKB 390PRO

O experimento com semente de milho transgênica, teve objetivo de apresentar a produtividade do híbrido com tecnologia inserida e o custo da condução desta cultura para o produtor.

2.6.2.1 Experimento 4

O experimento 4 teve semente de milho transgênica testando doses de N. Os tratamentos foram T1 = 0 (omissão do nutriente), T2 = 50% da dose completa, T3 = 100% (dose completa), T4 = 150% (dose excedente) e T5 = 200% (dose excedente). As doses somaram no total 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N parceladas em 30 kg de N no plantio, excluindo a dose zero. Na primeira cobertura para a dose zero, não houve aplicação e os outros tratamentos tiveram 20, 70, 80 e 80 Kg de N. A segunda cobertura, como as doses 0, 50 e 100 já haviam sido completadas não houve aplicações e para as doses 150 e 200 foram aplicados 40 e 90 Kg de N, respectivamente.

As doses dos macronutrientes P e K foram calculadas de acordo com a análise de solo baseado em Raij e Cantarella (1997). Para P a dose aplicada foi de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 no plantio e para K a dose aplicada foi 110 kg ha⁻¹ de K_2O sendo 50 kg ha⁻¹ no plantio e 60 kg ha⁻¹ na cobertura 1.

3.6.2.2 Experimento 5

O experimento 5 teve semente de milho transgênica testando doses de P_2O_5 . Os tratamentos foram T1 = 0 (omissão do nutriente), T2 = 50% da dose completa, T3 = 100% (dose completa), T4 = 150% (dose excedente) e T5 = 200% (dose excedente). As doses somaram no total 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P_2O_5 e todas foram aplicadas por completa no sulco de semeadura.

As doses dos macronutrientes N e K foram calculadas de acordo com a análise de solo baseado em Raij e Cantarella (1997). Para N a dose aplicada foi de 120 kg ha⁻¹ de N sendo aplicado 30, 80 e 10 kg ha⁻¹ de N no plantio, cobertura 1 e cobertura 2 respectivamente e para K a dose aplicada foi 110 kg ha⁻¹ de K_2O sendo 50 kg ha⁻¹ no plantio e 60 kg ha⁻¹ na cobertura 1.

3.6.2.3 Experimento 6

O experimento 6 teve semente de milho transgênica testando doses de K. Os tratamentos foram T1 = 0 (omissão do nutriente), T2 = 50% da dose completa, T3 = 100% (dose completa), T4 = 150% (dose excedente) e T5 = 200% (dose excedente). As doses somaram no total 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K_2O parceladas em 50 kg de K_2O no plantio, excluindo a dose zero e na primeira cobertura. Para as doses 0 e 50, não houve aplicação e as outros tratamentos tiveram aplicação de 50, 100 e 150 kg de K_2O , respectivamente.

As doses dos macronutrientes N e P foram calculadas de acordo com a análise de solo baseado em Raij e Cantarella (1997). Para N a dose aplicada foi de 120 kg ha⁻¹ de N sendo aplicado 30, 80 e 10 kg ha⁻¹ de N no plantio, cobertura 1 e cobertura 2 respectivamente e para P a dose aplicada foi de 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 no plantio.

3.7 Medição do teor de clorofila nas folhas

As medições do teor de clorofila nas folhas foram realizadas com o medidor de clorofila portátil SPAD-502 Plus (Figuras 5a e 5b), que determina a quantidade relativa de clorofila presente nas folhas das plantas através da medição de absorvância da folha em duas regiões de comprimento de onda. Foram realizadas dez medidas em plantas diferentes por parcela no terço médio das folhas da base da espiga (MALAVOLTA et al., 1997).

Figura 5 – a) Avaliação da quantidade relativa de clorofila presente nas folhas; b) Equipamento SPAD-502 Plus utilizado nas medições. (Fotos: G. S. MALVESTITI)

3.8 Coleta de folhas para análise foliar

Para análise de diagnose foliar foi coletada a folha inferior logo abaixo oposta a espiga (Figura 6a), da qual foi cortado cerca de 20cm de comprimento do terço central da folha da base da espiga (Figura 6b), coletada na fase em que ao menos 50% das plantas se encontrem pendoadas, retida as nervuras centrais conforme descrito por Coelho e França (1995).

As folhas coletadas foram lavadas em água deionizada (Figura 6c) e retirada a nervura central (Figura 6d), após a retirada do terço central da folha. As amostras identificadas foram secas em estufa a 60°C por 72 horas, moídas (Figuras 6e e 6f) e enviadas ao Laboratório de Solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos em Pirassununga-SP no Departamento de Zootecnia (Figura 6g), segundo métodos descritos por Bataglia et al. (1983). As amostras foram digeridas por via úmida com ácido sulfúrico para a determinação de nitrogênio e com ácido nítrico e perclórico para determinação de fósforo, potássio.

Figura 6 – a) Coleta da folha logo abaixo oposta a espiga para análise foliar; b) Divisão da folha em 3 partes para utilização do terço central; c) Retirada da nervura central da folha; d) Lavagem da folha em água destilada; e) Folhas sendo colocada no moedor; f) Folha moída saindo do moedor em saco identificado; g) Folhas moidas identificadas. (Fotos: G. S. MALVESTITI)

3.9 Colheita e avaliações de produtividade

Em campo, foi realizada a medida da altura total das plantas, com auxílio de uma régua (Figura 7)

Figura 7 – Avaliação da altura das plantas com régua. (Fotos: G. S. MALVESTITI)

A colheita foi realizada nas linhas centrais de cada parcela. Todas as espigas das linhas três e quatro foram coletadas e armazenadas para posterior avaliação.

Após a debulha do milho em debulhador de espiga tracionado com trator (Figuras 8a e 8b) foi mensurado o peso total e o peso de 1000 grãos, todos corrigidos para 13 % de umidade.

Figura 8 – a) Milho ensacado por parcela, após a coleta das espigas; b) Debulha mecanizada por espiga. (Fotos: G. S. MALVESTITI)

3.10 Coleta de solo em pós colheita

Após a colheita dos experimentos, foi realizada a coleta de solo com cavadeira, onde de cada parcela foi retirada 3 sub-amostras de solo em cada profundidade 0 – 10 cm (Figura 9a), 10 – 20 cm (Figura 9b) e 20 – 40 cm (Figura 9c) na linha de plantio do milho. Após a coleta, as três sub-amostras de cada profundidade foram homogeneizadas compondo uma amostra para cada profundidade, todas foram embaladas, identificadas (Figura 9d) e destinadas ao Laboratório de Solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos em Pirassununga-SP no Departamento de Zootecnia, para análise química.

Figura 9 – a) Coleta da amostras de solo com profundidade 0 – 10 cm; b) Coleta da amostras de solo com profundidade 10 – 20 cm; c) Coleta da amostras de solo com profundidade 20 – 40 cm; d) Homogeneização do solo e embalagem. (Fotos: G. S. MALVESTITI)

3.11 Custos

Para a identificação do custo de produção dos milho DKB390 e DKB390PRO foram identificados custos operacionais de mão-de-obra e de equipamentos utilizados para o preparo da terra, do plantio e de cuidados pós-plantio, dos insumos, da colheita e do arrendamento da terra segundo as práticas da região. Algumas definições foram utilizadas:

Custos operacionais: é o custo, calculado em horas por hectare, para o preparo da terra e todos os tratos culturais necessários para produção de um hectare de milho.

Insumos: é o custo de todos os suprimentos, sementes, fertilizantes, herbicidas, inseticidas necessários para o plantio de um hectare de milho. Os valores considerados estão em consonância com a média dos preços da região segundos as especificações técnicas para cada nível de produtividade.

Colheita: trata-se do custo relacionado à colheita. Este processo é terceirizado e cobrado o valor por hora-máquina. O tempo previsto depende das condições topográficas do terreno e do tamanho da colheitadeira. O custo é determinado por região.

Transporte: É um processo terceirizado e é cobrado por tonelada-km, isto é, o custo varia em função da carga e distância percorrida.

Arrendamento: É o valor cobrado para utilização da terra, neste trabalho não foi considerado o arrendamento, pois baseado nos valores reais gastos nos experimentos, a terra não teve custos.

Os resultados foram analisados estatisticamente através da análise de variância, teste de Tukey 5% de probabilidade e, nos casos em que o teste F foi significativo para, foi realizada análise de regressão polinomial.

Foram estimadas três regressões do custo de produção como função do rendimento. Duas delas são regressões simples, uma para cada tipo de semente. O terceiro modelo estimado contemplou todas as observações, introduzindo-se variáveis “dummies” para captar diferenças no intercepto e na inclinação da função estimada decorrentes do tipo de semente.

$$C_{390} = \alpha + \beta Y_{390} + \varepsilon \quad [1]$$

$$C_{PRO} = \alpha + \beta Y_{PRO} + \varepsilon \quad [2]$$

$$C = \beta_0 + \beta_1 Y + \beta_2 D + \beta_3 DY + \varepsilon \quad [3]$$

Nesses modelos, C representa o custo de produção (R\$/ha), com os subscritos 390 e PRO designando respectivamente as sementes DKB390 e DKB390PRO, Y representa o rendimento ou produção por hectare (kg ha^{-1}), D uma variável binária que assume o valor 1 quando se trata de semente DKB390PRO, e 0, para sementes DKB390. Os termos ε são erros aleatórios com média 0 e variância constante.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimentos com híbrido DKB390

4.1.1 Experimento 1 - Nitrogênio (N)

Na Tabela 8 estão apresentadas as médias para todos os parâmetros estudados na adubação com N para o híbrido DKB390.

Tabela 8: Médias de Índice de coloração verde (ICV), altura de planta (ADP), rendimento (REN), massa de mil grãos (MMG), teor de N na folha diagnóstica (TNF), teor de P na folha diagnóstica (TPF), teor de K na folha diagnóstica (TKF):

Doses de N (kg ha ⁻¹)	ICV	ADP (m)	REN (kg ha ⁻¹)	MMG (Kg)	TNF (g kg ⁻¹)	TPF (g kg ⁻¹)	TKF (g kg ⁻¹)
0	63,5a	2,3b	7242b	0,3a	36,2b	3,6a	16,5a
50	62,2a	2,3ab	9983ab	0,3a	37,5ab	3,3a	20,5a
100	62,1a	2,4a	10865a	0,3a	38,6ab	3,5a	24,9a
150	64,1a	2,3ab	10304ab	0,3a	37,4ab	6,3a	23,5a
200	63,4a	2,3ab	10423a	0,3a	39,5a	3,5a	25,5a
CV(%)	5,5	1,9	14,3	5,6	2,9	6,3	69,26
DMS	7,9	0,14	3142	0,5	2,5	0,5	34,6
<i>f</i>	NS	*	*	NS	*	NS	NS

** significativo em nível de 1%, * significativo em nível de 5%, pelo teste F; NS: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

a) Características Produtivas

A resposta do índice de coloração verde a doses de N não foi significativo, porém as médias obtidas neste trabalho (Tabela 1), são maiores do que as obtidas por Argenta et al. (2003) e Hurtado et al. (2010), que foram de 58,0 na folha abaixo e oposta à espiga no estágio de espigamento. A síntese de clorofila é induzida pela luz, tendo como cofator de algumas enzimas o Fe, dependendo de N, Mg e esqueletos carbônicos oriundos da própria fotossíntese. Adicionalmente, sofre influencia de fatores extrínsecos (disponibilidades de nutrientes, água, intensidade luminosa, fotoperíodo, manejo, etc) e intrínsecos (variabilidade genética). A maior leitura do clorofilometro foi de 64,1 no estágio R1 na dose de 150 kg ha⁻¹ de N.

Com o incremento das doses de N, a altura das plantas respondeu significativamente ($P < 0,05$), mas os dados não se ajustaram a nenhuma curva de regressão. Silva et al. (2008),

estudando os efeitos da aplicação de doses de N (0; 40; 80 e 120 kg ha⁻¹ de N) na cultura do milho, constataram que a resposta da altura de plantas às doses de N foi positiva e descrita por equações quadráticas. O N estimula a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, maior vegetação e perfilhamento e aumenta o teor de proteína (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Analisando a Figura 10a, observa-se o efeito significativo ($P < 0,05$) do rendimento com o aumento das doses de N. Os resultados se ajustaram segundo modelo quadrático, o que corrobora com resultados evidenciados por Silva (2006), que ao estudar as doses 50, 100, 150 kg ha⁻¹ de N obteve resposta significativa para produtividade do híbrido 30F80. Essa tendência de resposta quadrática está em concordância com os resultados obtidos por Gomes et al. (2007) e Silva et al. (2005), que obtiveram a máxima produtividade nas doses de 150 e 166 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. O incremento no rendimento do milho de acordo com as doses de N se dá em virtude deste nutriente favorecer o crescimento da planta, assim leva ao aumento de área foliar que pode promover maior síntese de fotoassimilados nas folhas favorecendo a produção (DUETE et al., 2008).

Figura 10 – a) Resposta do rendimento de grãos em kg ha⁻¹ a doses de N; b) Resposta do teor de N nas folhas em relação a doses de N.

A máxima produtividade foi de 10718 kg ha⁻¹ na dose de 135 kg ha⁻¹ de N. Esta dosagem está abaixo do recomendado por Raij e Cantarella (1997). Para a mesma produtividade esperada 8-10 t ha⁻¹, os autores recomendam 150 kg ha⁻¹ de N para classe de resposta alta. Evidenciando que o híbrido de milho que tem melhores condições genéticas, consegue produzir mais com menos quantidade de fertilizante.

A massa de mil grãos não foi significativa em relação às doses de N utilizadas. Dados semelhantes foram encontrados por Casagrande e Fornasieri (2002) quando testaram 4 doses

de N (0, 30, 60 e 90 de kg ha^{-1} de N) em dois híbridos de milho e a resposta do peso de mil grãos não foi significativa para nenhuma das doses.

b) Características Foliares

O incremento da dose de N proporcionou efeito significativo ($P < 0,05$) para o teor de N na folha diagnóstica, ajustando-se ao modelo linear crescente na análise de regressão (Figura 10b), o que corrobora com dados de Fernandes e Buzetti (2005), que ao testarem três doses de N (0, 90 e 180 kg ha^{-1} de N) em três híbridos de milho obtiveram uma equação linear crescente para nível de N na folha. De acordo com Cantarella, Raij e Camargo (1997), o teor adequado de N, nas folhas do milho, para um bom desenvolvimento e produção, está situado na faixa de 27,5-32,5 g kg^{-1} de matéria seca. Neste experimento os teores do nutriente nas folhas estiveram acima do considerado adequado (Tabela 8). Apesar de o tratamento com dose zero de N apresentar um menor teor de N foliar, este valor está acima da faixa ideal, não comprometendo o desenvolvimento da cultura. A produtividade do DKB390 respondeu de forma crescente ao incremento do nutriente. O teor máximo de N obtido na folha diagnóstica em R1 foi de 39,5 g kg^{-1} na dose de 200 kg ha^{-1} de N, estando acima do citado por Silva et al. (2011) e Okumura et al. (2013), que constatarem valores de 29,58 g kg^{-1} de N e de 36,02 g kg^{-1} de N, na dose de 240 kg ha^{-1} de N e 200 kg ha^{-1} respectivamente.

O ponto máximo estimado de rendimento de grãos para adubação de N foi obtido com a dose 135 kg ha^{-1} . Para esta dose, o teor de N na folha foi de 38,2 g kg^{-1} quando aplicado na equação obtida na regressão linear crescente para o nível de N na folha. Este valor está entre as médias do teor foliar obtido para as doses 100 e 150 kg ha^{-1} de N.

A resposta do teor de P na folha diagnóstica para doses de N não foi significativo. Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento et al. (2012) quando testaram o milho 2A525-DowAgro com 60, 80, 100 e 120 kg ha^{-1} de N em rotação de cultura com aveia.

Os teores de K para as adubações de N não foram significantes. Porém, as médias do teor do nutriente na folha foram maiores nos tratamentos com maiores doses de N. Para o teor de K na folha, Casagrande e Fornasieri (2002) obtiveram resultados semelhantes. Quando testaram quatro doses de N (0, 30, 60 e 90 de kg ha^{-1} de N) em dois híbridos de milho, o teor de K encontrado na folha diagnóstica não foi significativo. Ou seja, aparentemente não houve efeito sinérgico do N na absorção de P e K.

4.1.2 Experimento 2 - Fósforo (P)

Na Tabela 9 estão apresentadas as médias para todos os parâmetros estudados com adubação de P para o híbrido DKB390.

Tabela 9: Médias de Índice de coloração verde (ICV), altura de planta (ADP), rendimento (REN), massa de mil grãos (MMG), teor de N na folha diagnóstica (TNF), teor de P na folha diagnóstica (TPF), teor de K na folha diagnóstica (TKF), teores de P no solo nas profundidades de 00-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm:

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	ICV	ADP (m)	REN (kg ha ⁻¹)	MMG (Kg)	TNF (g kg ⁻¹)	TPF (g kg ⁻¹)	TKF (g kg ⁻¹)	00-10 cm mg dm ⁻³	10-20 cm mg dm ⁻³	20-40 cm mg dm ⁻³
0	65,2a	2,3a	9255d	0,3 ^a	38,2a	3,2b	17,0a	14,0d	9,5a	7,0a
40	61,9a	2,3a	9600cd	0,3 ^a	37,8a	3,4b	18,5a	26,0c	13,5a	8,2a
80	65,6a	2,3a	10036bc	0,3 ^a	37,6a	3,4b	18,7a	30,5c	20,0a	9,7a
120	64,1a	2,3a	10463ab	0,3 ^a	37,9a	3,5ab	23,9a	38,5b	13,0a	10,5a
160	65,1a	2,3a	10707a	0,3 ^a	38,5a	4,0a	18,2a	45,7a	14,0a	9,7a
CV(%)	5,1	2,4	2,96	3,8	5,3	6,8	32,2	8,8	44,9	36,2
DMS	7,4	0,12	668	0,3	4,5	0,5	13,9	6,1	14,2	7,4
F	NS	NS	**	NS	NS	**	NS	**	NS	NS

** significativo em nível de 1%, * significativo em nível de 5%, pelo teste F; NS: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

a) Características Produtivas

As doses de P não influenciaram significativamente o índice de coloração verde das plantas de milho, mas apresentaram valores acima do nível indicado como ideal por Argenta et al. (2003) de intensidade de 58,0 no estádio R1. Vale e Prado (2009), estudando doses de N, P e K em citromelo, não obtiveram resposta significativa para P e K. Este resultado era esperado, pois o único nutriente que escalonado neste experimento foi o P, o N foi aplicado na mesma dose para todas as parcelas, a fim de se verificar o comportamento do milho em relação a doses de P. Assim, mesmo com a dose máxima testada de 160 kg ha⁻¹ de P, as leituras de clorofila na folha não tiveram variações significativas.

A altura de planta não foi influenciada pela adubação com níveis de P. Dados semelhantes para altura de planta foram encontrados por Valderrama et al. (2011), que ao testar doses de P 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ no híbrido DKB390 não verificaram diferenças significativas. O P acelera formação de raízes, aumenta a frutificação, apressa a maturação dos frutos, aumenta o teor de carboidratos, óleos, gorduras e proteína (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A resposta do rendimento de grãos foi significativa ($P < 0,01$) quando submetido a diferentes doses de P. Os resultados responderam de forma linear crescente a análise de regressão (Figura 11a). Prado, Fernandes e Roque (2001) obtiveram o mesmo comportamento linear crescente para doses de P testadas em milho, o que está de acordo com diversos trabalhos relatados na literatura (NEPTUNE et al. 1982; SOUZA et al. 1998). O rendimento para a dose recomendada por Raij e Cantarella (1997), baseado na curva obtida no experimento, resultou em 9882 kg ha^{-1} para 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , ficando no intervalo sugerido pelos autores.

Figura 11 – a) Resposta do rendimento de grãos a doses de P; b) Resposta do teor foliar de P nas folhas em relação a doses de P.

Esta dose está bem acima da faixa de adubação recomendado por Raij e Cantarella (1997), que para solo com teor de $7\text{-}10 \text{ mg dm}^{-3}$ de P esperando uma produtividade de $10\text{-}12 \text{ t ha}^{-1}$ necessita de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Leucena et al. (2000) obtiveram variação do rendimento do milho em função das dosagens de P_2O_5 aplicadas ao solo e verificaram que o rendimento da cultura aumentou com a elevação das dosagens de P_2O_5 , até o nível de $197,6 \text{ kg ha}^{-1}$. Coelho et al. (2012), estudando resposta do milho a doses de e P_2O_5 ($45, 90, 135, 180 \text{ kg ha}^{-1}$) observaram que houve resposta crescente linear a aplicação de P inclusive com incrementos de produtividade bastante expressivos. Com isso, pode-se observar que o milho tem capacidade de responder a doses mais altas do que a testada neste experimento. Porém pode não ser compensativo financeiramente. As médias de produtividade obtidas nas maiores doses de P foram valores que se classificam como alto rendimento para milho tecnificado.

O incremento das doses de P não foi significativo para massa de mil grãos no milho convencional. Valderrama et al. (2011) verificaram o comportamento semelhante para massa de mil grãos que o obtido neste trabalho, onde o valor foi afetado de forma negativa.

b) Características Foliares

O teor de N na folha diagnóstica não sofreu influência significativa quando testado com doses de P. Resultados semelhantes foram encontrados por Prado, Fernandes e Roque (2001) que, ao estudar a resposta do milho ao modo de aplicação do fertilizante fosfatado, em sulco duplo, simples e a lanço, em diferentes doses (45, 67,5, 90, 112,5, 135 kg ha⁻¹), não obtiveram diferenças significativas no teor de N foliar. Alves et al. (1999), estudando o fornecimento de P em parte do sistema radicular do milho, em vasos, observaram que não houve diferença significativa na absorção dos outros nutrientes (N, Ca e Mg) em um dos experimentos. No outro, houve redução no acúmulo desses nutrientes pela parte aérea do milho.

O nível de P na folha diagnóstica foi significativo ($P < 0,01$) para as doses de P testadas. Os dados se ajustaram ao modelo linear crescente na análise de regressão (Figura 11b). Segundo Cantarella, Raij e Camargo (1997), o teor adequado de P nas folhas do milho, para um desenvolvimento adequado, está situado na faixa de 2,0-4,0 g kg⁻¹ de matéria seca. Assim, neste experimento, independente da dose de P testada, o teor do P nas folhas estava dentro do considerado adequado, possibilitando o desenvolvimento da cultura normalmente. Fradoloso (2006), estudando doses de P em milho, teve como resposta o crescimento no teor foliar, ajustado ao modelo quadrático. O maior teor de P estimado foi de 2,7 g kg⁻¹ na dose 246 kg ha⁻¹. Souza et al. (1998) obtiveram resposta significativa para os teores de P na folha quando testaram adubação fosfatada.

O teor foliar de P e o rendimento de grãos cresceram linearmente. Assim foi possível observar que o P responde ao incremento do nutriente. Porém, o teor P da maior dose está no máximo indicado como ideal e provavelmente doses maiores não aumentariam o teor de P na folha ou atingiriam níveis tóxicos.

A resposta do teor de K na folha diagnóstica não foi significativa, quando testado doses de P. Prado, Fernandes e Roque (2001) obtiveram resultados semelhantes ao estudar a resposta do milho ao modo de aplicação do fertilizante fosfatado, em sulco duplo, simples e a lanço, em diferentes doses (45, 67,5, 90, 112,5, 135 kg ha⁻¹) não obteve diferenças significativas no teor de P foliar.

c) Características do solo

Na camada de 00-10 cm, o teor de P respondeu significativamente ($P < 0,01$) aos níveis de P testado. Os dados se ajustaram segundo modelo linear crescente (Figura 12). O mesmo comportamento linear crescente foi obtido por Frandoloso (2006) quando estudou duas fontes de P com doses de 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ em híbrido de milho. Sarmiento et al. (2002) e Braga et al. (1991) também encontraram resultados semelhantes.

Nas camadas de 10-20cm e 20-40cm, os teores de P encontrados não foram significativos. De acordo com Grant et al. (2001), o P é relativamente imóvel no solo e assim permanece próximo ao local em que foi colocado o fertilizante. A melhor forma de se aplicar P em solos deficientes, com alta capacidade de fixação, para suprir as necessidades do nutriente nas fases iniciais da cultura, é na semeadura, colocando-o ao lado e abaixo da semente (aplicações de arranque). Esse efeito também é visível em solos com níveis de P relativamente altos (isto é, com uma história de adubação com P), onde a aplicação de P com N no sulco de semeadura produzem excelentes resultados.

Figura 12 – Teor de P no solo na profundidade de 0 – 10 cm em resposta a adubação de P.

4.1.3 Experimento 3 - Potássio (K)

Na Tabela 10 estão apresentadas as médias para todos os parâmetros estudados com adubação de K para o híbrido DKB390.

Tabela 10: Médias de Índice de coloração verde (ICV), altura de planta (ADP), rendimento (REN), massa de mil grãos (MMG), teor de N na folha diagnóstica (TNF), teor de P na folha diagnóstica (TPF), teor de K na folha diagnóstica (TKF), teores de K no solo nas profundidades de 00-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm (20-40):

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	ICV	ADP (m)	REN (kg ha ⁻¹)	MMG (Kg)	TNF (g kg ⁻¹)	TPF (g kg ⁻¹)	TKF (g kg ⁻¹)	00-10 cm mg dm ⁻³	10-20 cm mg dm ⁻³	20-40 cm mg dm ⁻³
0	65,4a	2,3a	9642b	0,3 ^a	36,8a	3,6a	14,7b	0,9b	0,6c	0,4b
50	66,8a	2,3a	9809b	0,3 ^a	38,6a	3,6a	16,5b	1,9b	0,9bc	0,3b
100	64,7a	2,3a	10627ab	0,3 ^a	37,9a	3,3a	16,9b	2,9a	2,4a	2,1a
150	63,5a	2,3a	11019a	0,3 ^a	35,7a	3,4a	18,9b	2,4a	2,0ab	1,8a
200	63,9a	2,4a	11160a	0,3 ^a	36,6a	3,4a	28,9a	2,2a	1,6abc	1,2ab
CV(%)	5,8	3,3	6,9	4,9	4,3	7,9	17,3	24,1	31,67	38,6
DMS	8,4	0,2	1620	0,04	3,6	0,6	7,5	1,0	1,5	1,0
F	NS	NS	*	NS	NS	NS	**	**	**	**

** significativo em nível de 1%, * significativo em nível de 5%, pelo teste F; NS: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

a) Características Produtivas

O índice de coloração verde não foi influenciado pelas doses de K, mas apresentaram valores acima do nível indicado como ideal por Argenta et al. (2003), de intensidade de 58,0 no estágio R1. Vale e Prado (2009) estudando doses de N, P e K em citromelo, não obtiveram resposta significativa para P e K. Este comportamento era esperado, pois o único nutriente que escalonado neste experimento foi o K, as parcelas receberam a mesma dose de N, a fim de se verificar o comportamento do milho em relação a doses de K. Assim, com a dose de 200 kg ha⁻¹ de N, a leitura de clorofila na folha não teve variações significativas.

A altura da planta não foi significativa em relação às doses de K testadas em milho convencional. Dados semelhantes foram encontrados por Valderrama et al. (2011) ao estudar altura de plantas em relação a doses de KCl em DKB390. O esperado era que houvesse aumento da altura de planta, pois, segundo Prado (2008) o K é ativador de mais de sessenta enzimas na planta, sendo muito importante na expansão do volume celular e transporte de íons até as células meristemáticas.

A massa de mil grãos não foi influenciada pelas doses de K, o que corrobora com resultados de Deparis et al. (2007), que não observaram efeito significativo das doses de K 3; 7,5; 15; 30; 45; 52,5; e 57 kg ha⁻¹ de K₂O.

O rendimento, teve resposta significativa ao incremento de doses de K ($P < 0,05$), com resposta linear na regressão conforme Figura 13a. Resultados semelhantes foram encontrados por Ebrahimi et al. (2011) que, quando avaliaram as doses 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O no cultivar Jeta, obtiveram uma resposta linear crescente para a produtividade do cultivar. De acordo com Coelho et al. (2006), aumentos de produção em função da aplicação de K têm sido observados apenas em solos com teores muito baixos desse nutriente. Stromberger, Tsai e Huber (1994) atribuíram isto ao fato de o K influenciar diretamente o crescimento celular, pela ativação enzimática no transporte de N, e, portanto, ser de fundamental importância na formação de tecidos vegetais. O rendimento para dose recomendada por Raij e Cantarella (1997) foi de 10792 kg ha⁻¹ para 140 kg ha⁻¹ K₂O quando extrapolado na curva obtida no experimento, mostrando-se aproximadamente 7% acima do intervalo sugerido pelo autor.

b) Características foliares

Os teores de K nas folhas tiveram influência significativa ($P < 0,01$) das doses de K aplicada no solo. Os resultados se comportaram de forma quadrática na análise de regressão. (Figura 13b). Dados semelhantes foram obtidos por Valderrama et al. (2011) ao teor de K na folha em relação a doses de cloreto de potássio em DKB390, onde a testemunha diferiu significativamente dos outros tratamentos respondendo de forma quadrática a análise de regressão. O teor de K na folha diagnóstica foi de 28,97 g kg⁻¹ na dose máxima de rendimento, sendo o maior teor foliar observado. De acordo com Malavolta (2006), os níveis adequados de K são de 17-30 g kg⁻¹. Somente a dose zero esteve fora desta faixa.

A média dos teores de N determinados na folha diagnóstica esteve acima da faixa indicada como ideal para cultura do milho de acordo com Malavolta (2006), N=28-35 g kg⁻¹ e as médias obtidas dos teores de P apresentou-se dentro da faixa ideal, P=2,5-4,0 g kg⁻¹. Porém, para os dois nutrientes, os resultados não foram significativos em relação às doses de K aplicado. Deparis et al. (2007) obtiveram dados semelhantes quando estudaram adubação potássica no milho Penta. Este comportamento era esperado para estes dois nutrientes, pois neste experimento, ao se variar as doses de K, o N e P se mantiveram fixos, dando condições

para as plantas se desenvolverem normalmente, absorvendo e utilizando a quantidade necessária dos referidos nutrientes.

Figura 13 – a) Resposta do rendimento de grãos em kg ha⁻¹ a doses de K; b) Resposta do teor foliar de K nas folhas em relação a doses de K.

O K é um elemento que não forma compostos nas plantas, mas permanece livre para regular muitos processos essenciais, incluindo ativação enzimática, fotossíntese, uso eficiente da água, formação de amido e síntese de proteína (MALAVOLTA, 1996). Não desempenha o mesmo papel que o N, associado a aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos ou síntese de novos composto. Sua aplicação neste trabalho apresentou um acréscimo de produtividade à cultura. Tal relação entre esses dois macronutrientes foi observada em outros trabalhos (CARDOSO; MELO, 2000; PAVINATO et al., 2008).

c) Características do solo

Nas três profundidades analisadas, o K foi significativo ($P < 0,01$). O teor de K no solo respondeu de forma quadrática ao incremento das doses de K nas três profundidades (Figuras 14a, 14b, 14c) estudadas. Vale ressaltar que cada profundidade ficou dentro de uma faixa de concentração do macronutrientes. Na profundidade de 00-10 cm, os valores ficaram aproximadamente entre 1 a 5 mmol_c dm⁻³; de 10-20 cm os valores ficaram entre 1 a 4,5 mmol_c dm⁻³ e de 20-40 cm entre aproximadamente 0,5-4 mmol_c dm⁻³.

Para as três profundidades as doses que proporcionaram os maiores teores de K no solo estão próximas e ficam dentro da faixa considerada a de um solo ideal por Corsi e Nussio (1993), que relatam que um solo ideal deve apresentar em sua CTC: 20% de H, 65 a 85% de Ca; 6 a 12% de Mg e 2 a 5% de K. Para profundidade de 0-10 cm. o ponto máximo foi na dose de 57 kg ha⁻¹ proporcionando o teor 1,97 mmol_c dm⁻³ e atingindo 4,8% de saturação na

CTC, para 10-20 cm o ponto máximo foi na dose de 70 kg ha⁻¹ proporcionando o teor 2,1 mmolc.dm⁻³ com 5,1% de saturação na CTC. Para 20-40 cm a maior dose foi 68 kg ha⁻¹ proporcionando o teor 1,72 mmolc.dm⁻³ com 4,2% de saturação na CTC.

Sanzonowicz e Mielniczuk (1985) aplicaram 300 kg ha⁻¹ de K₂O em um solo arenoso do Rio Grande do Sul e observaram que cinco meses depois o K trocável havia aumentado até 40 cm de profundidade. A elevação dos valores de K trocável com o aumento da profundidade do solo se deve ao aumento da concentração do nutriente na solução do solo, decorrente da adição do fertilizante potássico. À medida que a solução mais concentrada em K vai se deslocando descendentemente no solo, estabelecem-se novos equilíbrios entre os cátions, e parte do K na solução percolante passa a ocupar algumas das cargas elétricas negativas dos constituintes sólidos do solo (ERNANI; BARBER, 1993).

Figura 14 – a) Teor de K no solo na profundidade de 0 – 10 cm em resposta a adubação de ; b) Teor de K no solo na profundidade de 10 – 20 cm em resposta a adubação de K; c) Teor de K no solo na profundidade de 20 – 40 cm em resposta a adubação de K.

4.2 Experimentos testando híbrido DKB390PRO

4.2.1 Experimento 4 - Nitrogênio (N)

Na Tabela 11 estão apresentadas as médias para todos os parâmetros estudados com adubação de N para o híbrido DKB390PRO.

Tabela 11: Médias de Índice de coloração verde (ICV), altura de planta (ADP), rendimento (REN), massa de mil grãos (MMG), teor de N na folha diagnóstica (TNF), teor de P na folha diagnóstica (TPF) e teor de K na folha diagnóstica (TKF).

Doses de N (kg ha ⁻¹)	ICV	ADP (m)	REN (kg ha ⁻¹)	MMG (kg)	TNF (g kg ⁻¹)	TPF (g kg ⁻¹)	TKF (g kg ⁻¹)
0	53,9b	2,2a	8786c	0,3a	33,9b	3,1a	19,5a
50	62,1ab	2,3a	10026b	0,3a	37,2a	3,2a	19,9a
100	64,8a	2,3a	11004 ^a	0,3a	37,6a	3,2a	18,9a
150	69,3a	2,3a	10687ab	03a	37,1a	3,3a	19,9a
200	62,1ab	2,3a	11119 ^a	0,3a	37,6a	3,4a	19,9a
CV(%)	6,6	2,4	4,07	5,3	2,8	4,7	14,2
DMS	9,4	0,1	9,47	0,03	2,3	0,3	6,2
<i>f</i>	**	NS	**	NS	**	NS	NS

** significativo em nível de 1%, * significativo em nível de 5%, pelo teste F; NS: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

a) Características Produtivas

O incremento das doses de N foi significativo para índice de coloração verde das folhas, que apresentou modelo quadrático ($P < 0,01$) para o híbrido conforme Figura 15. Hurtado et al. (2009) também constatarem comportamento quadrático para índice de coloração verde do híbrido Pioneer 30F90, no estádio R1, em relação a doses crescente de N (0, 100, 200 e 300 Kg ha⁻¹ de N). O ponto máximo de índice de coloração verde foi 67,16, obtidos na dose 129 kg ha⁻¹.

A altura das plantas não respondeu significativamente aos níveis do nutriente. Resultado semelhante foi obtido por Sangoi e Almeida (1994), que não observaram efeito significativo da aplicação de N na altura da planta de milho. Assim, é possível verificar que a resposta da cultura depende muito do histórico da área, condições climáticas e estádios de aplicação do N.

Figura 15 – Resposta do índice de coloração verde a doses de N.

O rendimento foi significativo em função das doses de N ($P < 0,01$). Os resultados responderam de forma quadrática a regressão (Figura 16a), o que corrobora com resultados evidenciados por Silva (2006) que, ao estudar as doses 50, 100, 150 kg ha⁻¹ de N, obteve resposta significativa para produtividade do híbrido 30F80, também tendo os dados ajustado de forma quadrática.

O ponto máximo de produtividade foi de 11082 kg ha⁻¹ com dose 164 kg ha⁻¹ de N. Esta dose está 10% acima daquela recomendada por Raji e Cantarella (1997). Para a mesma produção esperada (8 - 10 t ha⁻¹), os autores recomendam para classe de resposta alta a 150 kg ha⁻¹ de N.

O peso de mil grãos não foi significativo ao incremento da dose de N, o que corrobora com dados obtidos por Valderrama et al. (2011), que ao estudar doses de N (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) em híbrido de milho não obtiveram diferenças significativas para o peso de mil grãos. Esta estabilidade no resultado pode ser devido à homogeneidade das espigas de milho produzida no experimento.

b) Características Foliares

O teor de N na folha diagnóstica foi significativo ($P < 0,01$) ao incremento das doses de N aplicado, (Figura 16b). De acordo com Cantarella, Raji e Camargo (1997), o teor adequado de N nas folhas do milho, para um bom desenvolvimento e produção, está situado na faixa de 27,5-32,5 g kg⁻¹ de matéria seca. Hurtado et al. (2009) obtiveram resposta quadrática para o teor de N foliar na folha diagnóstica em relação a doses de 0, 100, 200 e 300 Kg ha⁻¹ de N

aplicado em milho 30F90. O ponto máximo de absorção se deu na dose 138 kg ha^{-1} . Assim, pode-se entender que a capacidade fisiológica de absorção do nutriente é uma característica que apresenta controle genético e varia de acordo com a cultivar utilizada (SOUZA et al., 2008). Resultados similares foram obtidos por Fernandes et al. (1999) que, ao avaliarem doses de 0 a 240 kg ha^{-1} de N em cobertura, para milho cultivado em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, não observaram grande aumento da absorção do nutriente nas maiores doses.

Os comportamentos dos parâmetros índice de coloração verde e teor de N na folha tiveram a mesma tendência quadrática e apresentaram pontos máximos de 129 e 135 kg ha^{-1} . A relação do teor foliar de N e índice de coloração verde foi significativa ($P < 0,05$). Os dados desta relação responderam de forma quadrática a regressão (Figura 16c) tendo o mesmo comportamento de teor de N. Desta forma as leituras efetuadas pelo equipamento podem substituir, com boa precisão, as análises de teor de nitrogênio na folha. Avaliações realizadas na cultura do milho (Dwyer et al, 1991) e em outras espécies (YADAVA, 1986; MARQUARDT; TIPTON, 1987; TENGA et al., 1989; DWYER et al., 1995, ARGENTA et al., 2001) também constataram relação significativa entre leitura do clorofilômetro e teor de clorofila extraível da folha.

Nascimento et al. (2012) relataram resultados semelhantes para comportamento não significativo da resposta do teor de P na folha diagnóstica de acordo com doses de N, quando testou o milho 2A525-DowAgro com 60, 80, 100 e 120 kg ha^{-1} de N em rotação de cultura com aveia.

Os teores de K para as adubações de N não apresentaram respostas diferentes. Porém, as médias do teor dos dois nutrientes na folha foram maiores nos tratamentos com maior dose de N. Para o K, Casagrande; Fornasieri (2002) obtiveram resultados semelhantes. Quando testaram quatro doses de N (0, 30, 60 e 90 kg ha^{-1} de N) em dois híbridos de milho, o teor de K encontrado na folha diagnóstica não foi significativo.

Figura 16 – a) Resposta do rendimento de grãos em kg ha^{-1} a doses de N; b) Resposta do teor foliar de N em relação a doses de N, c) Relação entre o índice de coloração verde e o teor de Foliar de N.

4.2.2 Experimento 5 - Fósforo (P)

Na Tabela 12 estão apresentadas as médias para todos os parâmetros estudados com adubação de P para o híbrido DKB390PRO.

Tabela 12: Médias de Índice de coloração verde (ICV), altura de planta (ADP), rendimento (REN), massa de mil grãos (MMG), teor de N na folha diagnóstica (TNF), teor de P na folha diagnóstica (TPF), teor de K na folha diagnóstica (TKF), teor de P no solo na profundidade de 00-10 cm (00-10), teor de P no solo na profundidade de 10-20 cm (10-20) e teor de P no solo na profundidade de 20-40 cm (20-40):

Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	ICV	ADP (m)	REN (kg ha ⁻¹)	MMG (Kg)	TNF (g kg ⁻¹)	TPF (g kg ⁻¹)	TKF (g kg ⁻¹)	00-10 mg dm ⁻³	10-20 mg dm ⁻³	20-40 mg dm ⁻³
0	65,6a	2,4 ^a	8888b	0,3 ^a	35,7c	2,9e	19,9a	9,0b	5,2b	4,0b
40	65,7a	2,3 ^a	10267a	0,3 ^a	36,4abc	3,1d	18,5a	18,5ab	12,0ab	4,7a
80	64,1a	2,3 ^a	10577a	0,3 ^a	35,9bc	3,2c	18,5a	20,0a	16,2a	11,2a
120	63,3a	2,3 ^a	9648ab	0,3 ^a	37,7 ^a	3,3b	19,2a	23,2a	15,2a	10,7a
160	59,5a	1,9 ^a	8812b	0,3 ^a	37,6ab	3,4a	17,2a	29,0a	17,7a	14,0a
CV(%)	7,2	23,2	5,3	7,2	2,1	1,0	15,0	23,5	25,7	21,6
DMS	10,3	1,2	1153	0,04	1,7	0,3	6,7	10,6	7,8	5,0
f	NS	NS	**	NS	**	**	NS	**	**	**

** significativo em nível de 1%, * significativo em nível de 5%, pelo teste F; NS: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

a) Características Produtivas

As doses de P não influenciaram significativamente o índice de coloração verde, das plantas de milho, mas apresentaram valores acima do nível indicado como ideal por Argenta et al. (2003) de intensidade de 58,0 no estágio R1. Vale e Prado (2009) estudando doses de N, P e K em citromelo, não obtiveram resposta significativa para P e K. Este dado era esperado, pois o único nutriente que escalonado neste experimento foi o P, o N foi aplicado na mesma dose para todas as parcelas, a fim de se verificar o comportamento do milho em relação a doses de P. Assim, com a dose completa de N, as leituras de clorofila na folha não tiveram variações significativas.

A altura de planta não sofreu influencia da adubação com níveis de P. Valderrama et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes quando testaram doses de P (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) no híbrido DKB390. O P não tem como característica influenciar na altura de plantas e sim acelerar a formação de raízes, aumentar frutificação e apressar maturação dos frutos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A massa de mil grãos não foi significativa para doses de P testadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al. (2012), ao testarem doses de 0, 40, 80, 120, 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em híbrido 30F35 Pioneer.

O rendimento foi significativo ($P < 0,01$) ao incremento de doses de P. Os resultados responderam de forma quadrática (Figura 17a) o que corrobora com dados obtidos por Frandoloso et al. (2010) que, ao testarem o híbrido AG8021 com doses de 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, obtiveram resposta quadrática do rendimento de grãos para as doses de P obtidas em ambas as fontes utilizadas, sendo que as maiores produções foram encontradas com o uso do superfosfato triplo, tendo como ponto de máximo rendimento 9791 kg ha⁻¹, na dose 247 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O ponto máximo de rendimento para o DKB390 PRO foi de 10451 kg ha⁻¹ na dose de 95 kg ha⁻¹. Esta dose está apenas 5% abaixo do recomendado por Raji e Cantarella (1997), que para solo com teor de 7-10 mg.dm⁻³ de P esperando uma produtividade de 10-12 t ha⁻¹, necessita de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

b) Características Foliares

O teor de N na folha diagnóstica foi significativo ($P < 0,01$) com o aumento das doses de P. Porém os dados não se ajustaram a nenhuma curva na análise de regressão. Alves et al. (1999), estudando o fornecimento de P em parte do sistema radicular do milho, em vasos, observaram que não houve diferença significativa na absorção dos outros nutrientes (N, Ca e Mg) em um dos experimentos; no outro, houve redução na acumulação desses nutrientes pela parte aérea do milho.

O incremento das doses de P influenciou de forma significativa ($P < 0,01$) o nível de P foliar, comportando-se de forma linear crescente na análise de regressão (Figura 17b). O teor adequado de P nas folhas do milho, para um desenvolvimento adequado, está situado na faixa de 2,0-4,0 g kg⁻¹ de matéria seca (CANTARELLA; DUARTE, 1997). Independentemente da dose de P testada, o teor de P nas folhas esteve dentro do considerado adequado neste experimento, possibilitando o desenvolvimento da cultura. O maior teor de P encontrado foi de 3,43 g kg⁻¹, na dose máxima testada de 160 kg ha⁻¹. Frandoloso (2006), estudando doses de P em milho, teve como resposta o crescimento no teor foliar, ajustado de forma quadrática na regressão. Porém o maior teor de P estimado foi de 2,7 g kg⁻¹ na dose 246 kg ha⁻¹. Souza et al. (1998) obtiveram resposta significativa para os teores de P na folha quando testaram adubação fosfatada.

Figura 17 – a) Resposta do rendimento de grãos em kg ha⁻¹ a doses de P; b) Resposta do teor foliar de P nas folhas em relação a doses de P.

O teor de K na folha diagnóstica não foi influenciado pelas doses de P. Prado, Fernandes e Roque (2001) obtiveram resultados semelhantes ao estudarem a resposta do milho à forma de aplicação do fertilizante fosfatado, em sulco duplo, simples e a lanço, em diferentes doses (45, 67,5, 90, 112,5, 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅) não obtiveram diferenças significativas no teor de K foliar.

c) Características Solo

Na camada de 00-10 cm, o teor de P no solo foi significativo ($P < 0,01$). Os dados se ajustaram de forma linear crescente (Figura 18a). O mesmo comportamento linear crescente foi obtido por Frandoloso (2006), quando estudou duas fontes de P com doses de 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em híbrido de milho. Sarmento et al. (2002) e Braga et al. (1991) também encontraram resultados semelhantes.

O teor de P foi significativo ($P < 0,01$) na camada de 10 – 20 cm (Figura 18b), onde os dados se ajustaram em uma curva quadrática. Frandoloso (2006) obteve efeito significativo utilizando as doses 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em milho no teor de P disponível na camada do solo de 10-20 cm. Porém os dados se comportaram de forma linear crescente na regressão quando extraído por Mehlich-I.

Na camada de 20-40 cm, os teores de P sofreram influência significativa ($P < 0,01$) (Figura 18c). A concentração de P no solo aumentou de forma linear crescente. É importante ressaltar, que em todas as camadas houve aumento do teor de P de acordo com as doses

aplicadas, porém cada profundidade dentro de uma faixa de concentração do macronutriente. Na profundidade de 0-10 cm, os valores ficaram aproximadamente entre 10 a 45 mg dm⁻³; de 10-20 cm os valores ficaram entre 10 a 35 mg dm⁻³ e de 20-40 cm entre aproximadamente 6-12 mg dm⁻³, confirmando que o P, por ser um elemento pouco móvel, desce lentamente pelas camadas do solo. E este movimento provavelmente foi beneficiado pela calagem e gessagem realizada no tempo correto, que diminuíram a acidez do solo, possibilitando o desenvolvimento completo das raízes.

Figura 18 – a) Teor de P no solo na profundidade de 0 – 10 cm em resposta a adubação de P; b) Teor de P no solo na profundidade de 10 – 20 cm em resposta a adubação de P; c) Teor de P no solo na profundidade de 20 – 40 cm em resposta a adubação de P.

4.2.3 Experimento 6 - Potássio (K)

Na Tabela 13 estão apresentadas as médias para todos os parâmetros estudados com adubação de K para o híbrido DKB390PRO.

Tabela 13: Médias de Índice de coloração verde (ICV), altura de planta (ADP), rendimento (REN), massa de mil grãos (MMG), teor de N na folha diagnóstica (TNF), teor de P na folha diagnóstica (TPF), teor de K na folha diagnóstica (TKF), teores de K no solo nas profundidades de 00-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm (20-40).

Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)	ICV	ADP (m)	REN (kg ha ⁻¹)	MMG (Kg)	TNF (g kg ⁻¹)	TPF (g kg ⁻¹)	TKF (g kg ⁻¹)	00-10 cm mg dm ⁻³	10-20 cm mg dm ⁻³	20-40 cm mg dm ⁻³
0	65,2a	2,1b	8473b	0,3 ^a	34,6 ^a	3,0a	17,8c	1,6c	1,4d	0,3c
50	62,7a	2,2ab	9387ab	0,3 ^a	37,0a	3,2a	18,1c	2,0bc	1,5cd	0,8c
100	56,8a	2,2ab	9699a	0,3 ^a	36,6 ^a	3,1a	20,5b	2,9b	2,7bc	2,5b
150	59,1a	2,2ab	8538b	0,4 ^a	34,6 ^a	3,1a	20,9b	2,9b	2,4bc	2,1b
200	46,0a	2,2a	8569b	0,3 ^a	34,6 ^a	3,3a	56,6a	4,9a	4,8a	4,3a
CV(%)	22,6	1,7	4,9	19,2	4,0	5,5	4,5	13,5	16,0	16,9
DMS	29,6	0,8	988	0,13	3,2	0,4	2,1	0,9	0,9	0,7
<i>f</i>	NS	*	**	NS	NS	NS	**	**	**	**

** significativo em nível de 1%, * significativo em nível de 5%, pelo teste F; NS: não significativo em nível de 5% pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

a) Características Produtivas

O índice de coloração verde não foi influenciado pelas doses de K, mas apresentaram valores acima do nível indicado como ideal por Argenta et al. (2003), de intensidade de 58,0 no estágio R1. Vale e Prado (2009) estudando doses de N, P e K em citromelo não obteve resposta significativa para P e K. Este comportamento era esperado, pois o único nutriente que escalonado neste experimento foi o K, as parcelas receberam a mesma dose de N, a fim de se verificar o comportamento do milho em relação a doses de K. Assim, com a dose completa de N, a leitura de clorofila na folha não teve variações significativas.

A altura de planta foi significativa ($P < 0,05$) ao incremento de doses de K. Os resultados responderam de forma linear crescente a análise de regressão (Figura 19). Na dose máxima de 200 kg ha⁻¹ de K₂O o híbrido DKB 390PRO apresentou 2,2 m de altura, já sendo considerado na região de condução do experimento. Rabelo et al. (2013) verificaram efeito quadrático das doses (0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) de K sobre a altura das plantas de milho. Geneze (2004) estimando-se pela equação, uma altura máxima de 2,81 m, obtido com a aplicação de 97,5 kg ha⁻¹ de K₂O. Segundo Prado (2008) o K é ativador de mais de sessenta

enzimas na planta, sendo muito importante na expansão do volume celular e transporte de íons até as células meristemáticas.

As doses de K não influenciaram a massa de mil grãos. Deparis et al. (2007) também não observaram efeito significativo das doses de K (3; 7,5; 15; 30; 45; 52,5; e 57 kg ha⁻¹ de K₂O) na massa de mil grãos.

Figura 19 – Resposta da altura de planta (m) a doses de K₂O.

Para rendimento dos grãos, os dados se apresentaram significativos ($P < 0,01$) para as doses de K testadas (Figura 20a), se ajustando de forma quadrática na análise de regressão. Grigolli et al. (2010) obtiveram comportamento semelhante na análise de regressão. Os resultados responderam de forma quadrática quando se avaliaram dosagens de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O no milho 2B707. Stromberger, Tsai e Huber (1994) atribuíram isto ao fato de o K influenciar diretamente o crescimento celular, pela ativação enzimática no transporte de N, e, portanto, ser de fundamental importância na formação de tecidos vegetais. Assim a maior absorção de K em função da elevação do teor desse elemento no solo incrementa a translocação de fotossintatos para a espiga e consequentemente, para os seus grãos. Sobre tal comportamento, Mortvedt e Khasawneh (1986) descreveram que o balanço de nutrientes no solo é responsável por outras limitações no crescimento e não só na produção final de grãos. Contudo, a resposta do milho à adubação potássica pode variar quanto ao tipo de solo, saturação de Ca e Mg na solução e concentração inicial de K no solo (MEURER; ANGHINONI, 1993) e a produtividade esperada (RAIJ et al., 1996).

O ponto máximo de produção foi 9401 kg ha⁻¹ obtido na dose de 93 kg ha⁻¹ de K₂O.

b) Características Foliares

De acordo com a Tabela 13 é possível observar que na análise da folha diagnóstica os teores de N e P não foram significativos em resposta a doses de K. Resultados semelhantes foram obtidos por Cruz (2009) quando testou doses de K_2O (0, 70, 150, e 225 $kg\ ha^{-1}$) em milho em consórcio com *Brachiaria*. De acordo com Malavolta (2006), no caso especial do N, esperava-se aumento da concentração deste elemento com o aumento dos níveis de K no tecido foliar, pois a muito se conhece o sinergismo “efeito Vietis” que ocorre entre estes dois macronutrientes, o que não foi observado neste trabalho.

O teor de K na folha, também foi significativo, respondendo de forma linear a análise de regressão (Figura 20b). De acordo com Malavolta (2006), os níveis adequados de K são de 17-30 $g\ kg^{-1}$. Todos os teores estiveram dentro ou acima desta faixa. Andreotti et al. (2001) testando três solos, dois valores de saturação por bases e quatro teores de K no solo (0,5, 1,5, 3,0 e 6,0 $mmol_c\ dm^{-3}$) em milho, observaram relação dos teores de K na folha com efeito do teor de K no solo. Porém apenas na maior concentração (6,0 $mmol_c\ dm^{-3}$) de K no solo obteve-se o maior teor de K nas folhas.

Figura 20 – a) Resposta do rendimento de grãos em $kg\ ha^{-1}$ a doses de K; b) Resposta do teor foliar de K em relação a doses de K.

c) Características Solo

Em relação às concentrações de K no solo, nas três camadas analisadas foram significativas ($P < 0,01$) em relação ao incremento da dose de K. O teor de K no solo respondeu de forma quadrática nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm (Figuras 21a e 21b) e de forma linear na faixa de 20-40 cm (Figura 21c).

Vale ressaltar que cada camada ficou dentro de uma faixa de concentração do macronutriente, na profundidade de 0-10 cm os valores ficaram aproximadamente entre 1 a 5 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; de 10-20 cm os valores ficaram entre 1 a 4,5 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de 20-40 cm entre aproximadamente 0,5-4 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Comportamento semelhante foi encontrado por Sanzonowicz e Mielniczuk (1985) quando aplicaram 300 kg ha^{-1} de K_2O em um solo arenoso do Rio Grande do Sul e observaram que cinco meses depois o K trocável havia aumentado até 40 cm de profundidade. A elevação dos valores de K trocável com o aumento da profundidade do solo se deve ao aumento da concentração do nutriente na solução do solo, decorrente da adição do fertilizante potássico. À medida que a solução mais concentrada em K vai se deslocando descendentemente no solo, estabelecem-se novos equilíbrios entre os cátions, e parte do K na solução percolante passa a ocupar algumas das cargas elétricas negativas dos constituintes sólidos do solo, deslocando delas os cátions que as estavam neutralizando (ERNANI; BARBER, 1993).

Estes dados também corroboram com os dados de Kist (2005) o qual afirmou que os teores de K extraído com o extrator de Mehlich 1 demonstraram interação significativa com os níveis de K adicionado após o cultivo de aveia e milho. Foloni (2007) também encontrou aumento dos teores de K trocável do solo com o aumento das doses em kg ha^{-1} de K_2O para um sistema de rotação milheto-soja

Figura 21 – a) Teor de K em $mmol_c$ no solo na profundidade de 0 – 10 cm em resposta a adubação de K; b) Teor de K no solo na profundidade de 10 – 20 cm em resposta a adubação de K; c) Teor de K no solo na profundidade de 20 – 40 cm em resposta a adubação de K.

4.3 Pontos máximos de rendimento

Na Tabela 14 estão apresentados os pontos máximos obtidos para cada nutriente e híbrido, de acordo com a equação de segundo grau obtida na regressão, com exceção dos pontos máximos de P e K para o híbrido convencional DKB390 que os resultados apresentaram comportamento linear, assim o ponto máximo está representado com o valor da dose máxima.

Observa-se que para o N o híbrido convencional fez uma melhor utilização do nutriente tendo um rendimento maior. Para o P e K, o híbrido DKB390PRO, teve um maior rendimento, aproveitando o nutriente para incrementar o rendimento.

TABELA 14: Pontos máximos de rendimento e respectivas doses para híbridos DKB390 e DKB390PRO.

	DKB390		DKB390PRO	
	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹)	Rendimento(kg ha ⁻¹)	Dose(kg ha ⁻¹)
Ponto Máximo - N	10718	135	11082	164
Ponto Máximo - P	10707	160	10451	95
Ponto Máximo - K	11160	200	9401	93

Analisando o conjunto de nutrientes, o híbrido DKB390PRO pode ter um potencial mais produtivo por não sofrer com o stress de ser atacado por lagartas e manejos, aproveitando melhor os nutrientes e tem a oportunidade de produzir mais.

Comparando os resultados obtidos com os dados de Rajj et al. (1997) (Tabela 15), observou-se que para o N (DKB390) e K (DKB390) apresentam dose de nutriente, no rendimento máximo, abaixo do que o recomendado e a produção maior. Para o P (DKB390PRO) a dose está acima, porém o rendimento, para o P e K (DKB390) os valores não são os ideais para comparação. Lembrando que esta são doses máximas, não doses mais econômicas.

TABELA 15: Pontos máximos de rendimento e respectivas doses para híbridos DKB390 e DKB390PRO.

	RAIJ et al. (1997)		OBTIDOS	
	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹)	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Dose (kg ha ⁻¹)
DKB390 - N	8000 a 10000	150	10718	135
DKB390 - P	8000 a 10000	90	10707	160
DKB390 - K	8000 a 10000	140	11160	200
DKB390PRO - N	8000 a 10000	150	11082	164
DKB390PRO - P	8000 a 10000	90	10451	95
DKB390PRO - K	8000 a 10000	140	9401	93

4.4 Custos de produção dos híbridos DKB390 e DKB390PRO

Os valores utilizados para cálculos de gastos dos dois híbridos foram baseados nos experimentos conduzidos em campo. Os custos por tratamento foram extrapolados para hectare e valores de custo e lucro foram calculados para cada nutriente. Considerando o valor dos nutrientes, N com valor R\$ 3,42/ kg, P teve valor de R\$2,47/kg e K custou R\$ 2,65/kg.

O aluguel da terra, na região da condução dos experimentos, tem variações de acordo com o contrato realizado com o proprietário. Quando se conduz a cultura desde aplicação de calcário, o proprietário não tem lucro. Quando o proprietário entrega o solo pronto para o plantio, o lucro é de 20% da produção.

Na Tabela 16 estão demonstrados os principais dados sobre os insumos, e atividades por hectare em Reais (R\$) os híbridos DKB390 e DKB390PRO de acordo com as doses de N testada.

A comparação entre os custos de produção do milho convencional e transgênico apresentou diferenças nas despesas com sementes e inseticidas, bem como na produtividade.

O preço da semente transgênica é 44,7% mais cara que o a convencional. Porém este valor da tecnologia representa, em média para os três nutrientes testados, 4,2% no custo total. Já as aplicações de inseticida realizadas na condução dos experimentos de semente convencional representam, em média para os três nutrientes testados, 6,1% no custo total. Assim, mesmo havendo incremento de 44,7% no custo de produção com a tecnologia ainda os custos totais são inferiores aos custo da semente convencional. Este é um indicativo das razões da adoção das culturas transgênicas. Fernandez-Cornejo e McBride (2000) apontaram que 19 a 42 % dos produtores escolhem as tecnologias transgênicas pela possibilidade de redução dos custos. Produtores espanhóis de milho Bt, tem redução dos custos de produção, mesmo pagando um prêmio para a compra de sementes (ABE, 2002). Brookes (2002) concluiu que o preço maior da semente de milho Bt foi ultrapassado pela redução nos custos de inseticidas, para os produtores da Espanha, o que tem levado a uma demanda maior por esta tecnologia

TABELA 16: Médias dos valores gastos por hectare em reais (R\$) na condução dos híbridos DKB390 e DKB390PRO para as doses de N.

Híbrido Testado	DKB390					DBK390PRO				
Dose (kg ha ⁻¹)	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
Custos pré										
Aluguel da terra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulverização (2 entradas)	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Aplicação Calcário	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Gradagem (3 entradas)	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Aplicação de Gesso	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Insumos										
Híbrido	189	189	189	189	189	342	342	342	342	342
Fertilizante (plantio + cobertura)	362	438	515	591	668	362	438	515	591	668
Inseticida - Tracer	131	131	131	131	131	0	0	0	0	0
Trat Sem - Cropstar	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Herbicida - Atrazina	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Herbicida - Soberan (2 aplic.)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Herbicida - Gesaprin	462	462	462	462	462	462	462	462	462	462
Herbicida - Sanson	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Herbicida - Aureo (3 aplic.)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Herbicida - Roundup (2 aplic.)	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Calcário	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Gesso	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Operações										
Plantio	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Adubação Cobert.	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Pulverização Herb.(3 aplic.)	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
Pulverização Inse. (2 aplic.)	90	90	90	90	90	0	0	0	0	0
Colheita	699	799	869	824	834	703	802	880	855	889
Transporte	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Custo Total	3367	3542	3689	3721	3807	3302	3478	3633	3684	3795
Produção	8742	9983	10864	10304	10423	8786	10026	11004	10687	11119
Valor da saca	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Receita	4225	4825	5251	4980	5038	4246	4846	5319	5165	5374
Lucro Bruto	859	1283	1562	1259	1231	944	1368	1686	1481	1579

Na Tabela 17, são demonstrados os principais dados sobre os insumos, e atividades por hectare em Reais (R\$) os híbridos DKB390 e DKB390PRO de acordo com as doses de P testada.

TABELA 17: Médias dos valores gastos por hectare na condução dos híbridos DKB390 e DKB390PRO para as doses de P.

Híbrido Testado	DKB390					DBK390PRO				
Dose (Kg ha ⁻¹)	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
Custos pré										
Aluguel da terra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulverização (2 entradas)	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Aplicação Calcário	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Gradagem (3 entradas)	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Aplicação de Gesso	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Insumos										
Híbrido	189	189	189	189	189	342	342	342	342	342
Fertilizante (plantio + cobertura)	436	485	533	582	631	436	485	533	582	631
Inseticida - Tracer	131	131	131	131	131	0	0	0	0	0
Trat Sem - Cropstar	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Herbicida - Atrazina	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Herbicida - Soberan (2 aplic)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Herbicida - Gesaprin	462	462	462	462	462	462	462	462	462	462
Herbicida - Sanson	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Herbicida - Aureo (3 aplic)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Herbicida - Roundup (2 aplic)	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Calcário	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Gesso	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Operações										
Plantio	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Adubação Cobert.	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Pulverização Herb.(3 aplic)	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
Pulverização Inse. (2 aplic)	90	90	90	90	90	0	0	0	0	0
Colheita	771	787	813	778	857	711	821	846	772	705
Transporte	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Custo Total	3512	3577	3652	3665	3793	3384	3543	3617	3592	3573
Produção	9632	9840	10163	9720	10707	8887	10267	10577	9648	8812
Valor da saca	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Receita	4656	4756	4912	4698	5175	4296	4962	5112	4663	4259
Lucro Bruto	1144	1179	1260	1033	1382	911	1419	1495	1072	685

Na Tabela 18, são demonstrados os principais dados sobre os insumos, e atividades por hectare em Reais (R\$) os híbridos DKB390 e DKB390PRO de acordo com as doses de K testada.

TABELA 18: Média dos valores gastos por hectare na condução dos híbridos DKB390 e DKB390PRO para as doses de K

Híbrido Testado	DKB390					DBK390PRO				
Dose (Kg ha ⁻¹)	0	50	100	150	200	0	50	100	150	200
<i>Custos pré</i>										
Aluguel da terra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pulverização (2 entradas)	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Aplicação Calcário	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Gradagem (3 entradas)	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
Aplicação de Gesso	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
<i>Insumos</i>										
Híbrido	189	189	189	189	189	342	342	342	342	342
Fertilizante (plantio + cobertura)	383	457	531	605	679	383	457	531	605	679
Inseticida - Tracer	131	131	131	131	131	0	0	0	0	0
Trat Sem - Cropstar	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Herbicida - Atrazina	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Herbicida - Soberan (2 aplic)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Herbicida - Gesaprin	462	462	462	462	462	462	462	462	462	462
Herbicida - Sanson	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Herbicida - Aureo (3 aplic)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Herbicida - Roundup (2 aplic)	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Calcário	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113
Gesso	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
<i>Operações</i>										
Plantio	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Adubação Cobert.	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Pulverização Herb.(3 aplic)	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
Pulverização Inse. (2 aplic)	90	90	90	90	90	0	0	0	0	0
Colheita	771	785	850	882	893	678	751	776	683	685
Transporte	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<i>Custo Total</i>	3459	3547	3686	3792	3877	3298	3445	3544	3525	3602
<i>Produção</i>	9642	9809	10627	11019	11161	8473	9387	9699	8538	8569
<i>Valor da saca</i>	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
<i>Receita</i>	4660	4741	5137	5326	5394	4095	4537	4688	4127	4141
<i>Lucro Bruto</i>	1201	1194	1450	1534	1517	797	1092	1144	601	540

As estimativas dos três modelos estudados estão apresentadas na Tabela 19

TABELA 19: Estimativas dos parâmetros dos modelos 1 a 3 de custo de produção e rendimento por hectare:

	Modelo [1]	Modelo [2]	Modelo [3]
Variável dependente	C_{390}	C_{PRO}	C_{PRO}
Constante	1849,303 * (304,277)	2903,625 * (256,364)	1894,303 * (318,563)
Variáveis independentes			
Y	0,221 * (0,030)	0,106 * (0,026)	0,221 * (0,031)
D			1054,323 * (402,376)
D.Y			-0,116* (0,040)
Estatísticas do modelo			
F	55,19	15,945	31,177
R^2	0,488	0,216	0,446
R^2 ajustado	0,479	0,202	0,432
Desvio Padrão do Erro	186,07	203,166	194,805

* significativo a 1%

A produção com a semente DKB390PRO tem custos fixos maiores que a da semente DKB390 (respectivamente R\$ 2.948/ha e R\$1.894/ha, com diferença de R\$1.054/ha). Porém, apresenta custos variáveis menores (menos R\$0,116/kg). É possível observar também que o erro do termo (e) aleatório (ε) de DKB390PRO é maior que o de DKB390, sugerindo que o risco (exclusivamente relacionado com a variância do custo) associado à semente DKB390 é menor que o associado ao uso da semente DKB390PRO (diferença de 18%). Quando é realizada a comparação das estimativas obtidas, nota-se que custo do DKB390PRO é maior que o custo de produção da DKB390 (Figura 24) quando a produção é baixa e a partir da produção de 10.041 kg ha⁻¹ há a inversão dessa relação. Para produtividades maiores que 10.041 kg ha⁻¹, o custo esperado de DKB390PRO é menor, ou seja, o produtor tem que ter o compromisso de atingir elevadas produtividades quando utilizar híbridos de geneticamente modificado.

Figura 24 – Relação do custo de produção (R\$/ha) com o Rendimento (kg ha⁻¹).

5. CONCLUSÕES

Para o híbrido convencional DKB390 a aplicação de N provocou aumentos lineares do teor de N na folha, implicando em resposta quadrática para o rendimento de grãos atingindo produção máxima de 10718 kg ha^{-1} para dose de 135 kg ha^{-1} . Para os níveis aplicados de P a resposta foi de forma linear crescente no solo, na folha, bem como sobre rendimento de grãos para o intervalo avaliado (0 a 160 kg ha^{-1} de P_2O_5) e para o K o rendimento expressou resposta linear crescente, níveis de K na folha e solo as respostas foram quadrática.

Para o híbrido geneticamente modificado DKB390PRO, os níveis de N aplicado provocou a resposta quadrática no teor de N na folha com correlação positiva para o índice de coloração verde, refletindo sobre o rendimento de grãos, cuja produção máxima foi de 11082 kg ha^{-1} para a dose de 164 kg ha^{-1} de N. Para o P, os níveis utilizados proporcionaram resposta linear crescente no teor foliar de P, o rendimento de grãos teve resposta quadrática produzindo 9791 kg ha^{-1} na dose de 95 kg ha^{-1} de P_2O_5 e no solo a resposta foi linear crescente para as profundidades 0-10 e 20-40 cm sendo quadrática para 10-20 cm. Para o K a resposta foi linear crescente na folha, quadrática no rendimento de grãos com produção máxima de 9401 kg ha^{-1} na dose de 93 kg ha^{-1} K_2O , e para o solo as respostas foram quadráticas para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm sendo linear crescente na de 20-40cm.

De forma geral o híbrido DKB390PRO fez uma melhor utilização dos nutrientes convertendo em rendimento.

As doses utilizadas e rendimentos obtidos possibilitam concluir que há necessidade de adequação das recomendações para os híbridos de alta tecnologia e transgênico.

Para produtividades maiores que 10041 kg ha^{-1} , o custo esperado de DKB390PRO é menor, ou seja, o produtor tem que ter o compromisso de atingir elevadas produtividades quando se utiliza híbridos de alta tecnologia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP/M&S, 2012. p. 363-390

AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY IN EUROPE (ABE). **Economic impacts of crop biotechnology**, 2002. n. 5, Oct.

ALEXANDER, A. **Foliar fertilization**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986.

ALVAREZ, V. et al. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA NA UFV, 1., 1988. Viçosa. **Resumo...** Viçosa: UFV, 1988. p. 68-69.

ALVES, V. M. C. et al. Sugestão de adubação para a cultura do milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: SBCS, 1999. p. 314–316.

ANDRADE, F. H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce. Argentina. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 41, p. 1-12, 1995.

ANTUNES, L. M.; RIES, L. R. **Gerência agropecuária: análise de resultados**. Porto Alegre: Livraria e Editora Agropecuária, 1998. 240 p.

ARAGUAIA, M. Milho. In: **BRASIL ESCOLA**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/biologia/milho-1.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

ARGENTA, G. et al. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 4, p. 27-34, 2003.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability a mechanistic approach**. New York: John Wiley Sons, 1984. 398 p.

BARBOSA FILHO, M. P. Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado). In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato Potafos, 1987. 120 p. (Boletim Técnico, 9).

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BORCHGRAVE, R. **Cientista belga defende transgênicos para o Brasil**. São Paulo: CIB, 2002. Disponível em: <<http://www.cib.org.br/>>. Acesso em: 25 set. 2010.

BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E. A.; RAIJ, B. VAN, FEITOSA, C.T.; HIROSE, R., Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:315-319, 1991.

BROOKES, G. The farm level impact of using Bt maize in Spain. In: AGRICULTURE BIOTECHNOLOGY IN EUROPE. Brookes West, Canterbury, UK: ABE, 2002.

BRUNO, O. M. **Paralelismo em visão natural e artificial**. 2000. 391 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 63-145.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van et al. Recomendações de calagem e adubação para o estado de São Paulo. **Boletim técnico**, Campinas, n. 100, p. 45-71, 1997.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.139-182.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B. Níveis de nitrogênio e produtividade de grãos de milho em solos aluvial eutrófico e areais quartzosas sob condições de sequeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Anais....** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/UFU, 2000. 01 CD-ROM.

CARNEIRO, A. A. **Parecer técnico sobre a liberação comercial de milho geneticamente modificado evento Herculex I TC1507 no Brasil**. Sete Lagoas, 2008. Disponível em: <www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0000/640.doc>. Acesso em: 20 out. 2011.

CARNEVALLI, P. C.; FLORCOVSKI, J. L. Efeito de diferentes fontes de nitrogênio em milho (*Zea mays* L.) sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797). **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 20, p. 41-49, 1995.

CARVALHO, R. P. L. **Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) e suscetibilidade de diferentes genótipos de milho em condições de campo**. 1970. 70 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 71, p.1-9, set. 1995. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n. 2, set. 1995. Encarte.

COELHO, A. M.; ALVES, V. M. C. Adubação fosfatada na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba. YAMADA, T.; STIPP, S. R. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2004.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2005, Piracicaba. YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2005.

_____. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. **Circular Técnica**, Sete Lagoas, n. 96, dez. 2007.

COELHO, A. M. et al. Nutrição e adubação do milho: fertilidade do solo, cultivo do solo. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, dez. 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/feraduba.htm> Acesso em: 15 jun. 2013.

COELHO, A. M.; RESENDE, A. V.; SANTOS, F. C. Exigências nutricionais e adubação: milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde. In: CRUZ, J. C. et al. (Eds.). **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 73-82.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília : Conab, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_49_52_boletim_mai_2012.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2013.

COELHO, C. C. R.; COUTINHO, P. W. R.; CONCEIÇÃO, A. G. C BEZERRA, M. G. A.; LIMA, S. V.; PINHEIRO, G. F. C.; LIMA, J. V.; EDUARDO CÉZAR MEDEIROS SALDANHA, E. C. M., Resposta do milho à adubação fosfatada no Nordeste do Pará. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Disponível em: http://www.abms.org.br/29cn_milho/06289.pdf> Acesso em 18 jun. 2013

COTTON, F. A.; WILKINSON, G. **Advanced inorganic chemistry: a comprehensive text**. New York: Interscience Publishers, 1966. 1136 p.

CRUZ, J. C. et al. (Eds.). **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2. ed. Brasília: Embrapa/CNPMS, Embrapa/SPI, 1996. 204 p.

CRUZ, I. ; TUPIN, F. T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p. 335-359, 1982.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; MATOSO, M. J. **Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos *Trichogramma***. Sete Lagoas: EMBRAPA, CNPMS, 1999. 40 p.

CRUZ, I. et al. Suscetibilidade de diferentes populações de *Spodoptera frugiperda* a inseticidas químicos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26., 2006, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2006. p. 234.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; BICUDO, S. J.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; MACHADO, C. G., Consórcio de milho e *Brachiaria decumbens* em diferentes preparos de solo. UNESP – Jaboticabal-SP. **Acta Scientiarum. Agronomy Maringá**, v. 31, n. 4, p. 633-639, 2009

DECHEN, A.R.; NAVA, G.; BATAGLIA, O.C. Métodos de avaliação do estado nutricional das plantas para nitrogênio e enxofre. In: SIMPÓSIO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2006, Piracicaba. YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. E.; VITTI, G. C. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. 722 p.

DEPARIS, G. A.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. *Acta Scitiarum Agronomy*, v.29, p.517-525, 2007.

DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G. A.; BARRACO, M. Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum*) productivity in the sandy pampas region. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 839-840, 2004.

DKB 390 o híbrido número 1. Disponível em:
<<http://www.dekalb.com.br/produto/detalhe?id=DKB390>> . Acesso em: 20 mar. 2013

DWYER, L. M. et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, p. 179-182, 1995.

DUARTE, J. O. **Effects of the biotechnology and intellectual property right law in the sees industry**. 2001. Dissertation (PhD) – University of Nebraska , Lincoln, 2001.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 161-171, 2008.

EBRAHIMI, S. T. et al. Effect of potassium fertilizer on corn yield (*Jeta* cv.) under drought stress condition. **American-Eurasian Journal Agricultural and Environmental Sciences**, Dubai, v. 10, n. 2, p. 257-263, 2011. Disponível em: <
[http://www.idosi.org/aejaes/jaes10\(2\)/19.pdf](http://www.idosi.org/aejaes/jaes10(2)/19.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistemas de produção: cultivo de milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2009. Disponível em:
<<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 25 set. 2010.

_____. Milho: cultivares para 2009/2010. **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, 2010. Disponível em:< <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 25 set. 2010.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 41-46, 1993.

FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias**: guia para aula, estudo e discussão. Piracicaba: CALQ/ ESALQ, 1986. 131 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FANCELLI, A. L. Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 2000a, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 2000a. 1 CD-ROM.

FANCELLI, A.L.; D. DOURADO-NETO. **Produção de Milho** . Guaíba: 2º Ed. Agropecuária. 2004. 360p.

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute/Brasil, 2007. p. 445-486.

FANCELLI, A. L. Milho. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 39-93.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S. Efeito de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea mays L.*). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 4, n. 7, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/agro07/artigos/artigo02.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

FERNANDES, L. A. et al. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p.1691-1698, set. 1999.

FERNADEX-CORNEJO, J. et al. Genetically engineered crops for pest management in US agriculture: farm level benefits. **Agriculture Economics Report**, Washington, n. 786, May. 2000. 28 p.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

FRADOLOSO, J. F., **Eficiência de adubos fosfatados associado a enxofre elementar na cultura do milho**. 2006. 62 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2006.

FRANCO, J. A. M.; NETO, A. S. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimentos de matéria-prima. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2007, Piracicaba. YAMADA, T. et al. **Anais...** Piracicaba: IPNI/Brasil, 2007. 722 p.

FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solutions. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 18, p. 281-300, 1967.

FOLONI, J. S. S. **Dinâmica do potássio em sistema de produção de soja em rotação com aveia e milheto**. 2003. 151 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

FURUYA, S.; UMEMIYA, Y. The influence of chemical forms on foliar applied nitrogen absorption of peach tress. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 594, p. 97-103, 2002.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologias de produção de milho**. Viçosa: UFV, 2004. 366 p.

GASSEN, D. N. **Manejo de pragas associadas à cultura do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 134 p.

GLASS, A. D. M.; BEATON, J. D.; BOMKE, A. Role of phosphorus in plant nutrition. In: WESTERN CANADA PHOSPHATE SYMPOSIUM, 1980, Canada. **Proceedings...** Canada: Calgary, 1980. p. 357–368.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley, 1993.

GRANT, C.A.; PLATEN, D.N.; TOMAZIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, 2001.

GRIGOLLI, P. J., MELLO, L. M. M., HOLANDA, H. V., LEONEL, T. Z., KANEKO, F. H. Efeito de diferentes doses de potássio sobre a cultura do milho. UNESP Ilha Solteira, 2010.

GRUPO CULTIVAR. **Syngenta anuncia lançamentos na expodireto cotrijal**, 2009. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/noticias/noticia.asp?id=29149>> Acesso em: 20 ago. 2010.

HERINGER. **Produtos especiais**: FH nitro mais. Disponível em: <http://www.heringer.com.br/heringer/index_pt.htm>. Acesso em: 20 jun. 2013.

HYDE, J. M. et al. **Bt Corn**: the adaption implications of economics. West Lafayette: Puerdue University/Cooperative e Extension Service, 1999.

HOOGERHEIDE, H. C. **Dris para avaliação do estado nutricional da soja em duas regiões do cerrado brasileiro**. 2005. 94 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

HURTADO, S. M. C. et al. Sensibilidade do clorofilômetro para diagnose nutricional de nitrogênio no milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 3, n 3, p. 688-697, 2010.

_____. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 300-309, 2009.

ISHERWOOD, K. F. World plant nutrient resources: directions for the nrxt century. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Eds.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999.

JAMES, C. **Biotech corn can boost yields to help growing world food demandas**. New York: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 2003a .

_____. **Global status of commercialized transgenic crops.** New York: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 2003b.

KIST, S. L. **Suprimento de potássio em argissolo com histórico de adubação potássica.** 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LUCENA, L. F. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A. P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira. Engenharia Agrícola e Ambiental.** [online]. 2000, vol.4, n.3, pp. 334-337.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no Mundo. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba, 2004. YAMADA, T.; STIPP, S. R. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2004.

MALAVOLTA, E. **Potássio é uma realidade:** o potássio é essencial para todas as plantas. Piracicaba: Potafos, 1996. (Arquivo do Agrônomo, n. 10).

_____. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba. YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S; VITTI, G. C. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2004.

_____. Potássio: absorção, transporte e redistribuição na planta. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2., 2005, Piracicaba. YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2005.

_____. **Manual de nutrição de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, p. 571-638.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral de plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute/Brasil, 2007. p. 189-249.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

_____. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARQUARD, R. D.; TIPTON, J. L. Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. **HortScience**, Alexandria, v. 22, p. 1327, 1987.

MARRA, M.; CARLSON, G.; HUBBELL, B. **Economics impacts of the first crop biotechnologies**, 1998. Disponível em: <www.ag-econ.ncsu.edu/faculty/marra.firstcrop/img001.gif>. Acesso em: 15 jun. 2013.

MARRA, M. C.; PARDEY, P.; ALSTON, J. The payoffs of agricultural biotechnology: and assessment of the evidence. **Annual Report and International Food Policy Research Institute**, Washington, DC, 66 p., Jan. 2002.

MARTINHÃO, D.; SOUSA, G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba, 2004. YAMADA, T.; STIPP, S. R. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2004.

MELO, V. F. et al. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 807-819, 2003.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 181, n. 1, p. 83-93, 1996.

MENGUEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. London: Kluwer Academic Publishers, 2001.

MEURER, E.J. & ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. R. Bras. Ci. Solo, 17; 375-382, 1993.

MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio de longa duração: experiências brasileiras. In: YAMANDA, T. et al. Potássio na Agricultura Brasileira. Piracicaba: Instituto de Potassa e do Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, Fundação IAPAR, 1982. p. 289-303.

MORTVEDT, J.J.; KHASAWNEH, F.E. Effects of growth responses on cationic relationships in plants. **Soil Science**, v.141, p.200-207, 1986.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. van. Análise e interpretação de potássio no solo. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 93-118.

NASCIMENTO, F. M.; BICUDO, S. J.; FERNANDES, D. M.; RODRIGUES, J. G. L.; FERNANDES, J. C., Diagnose foliar em plantas de milho em sistema de semeadura direta em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.67-86, 2012.

NEPTUNE, A. M. L. et al. Efeitos de doses não equidistantes de N, P, K, nas concentrações destes macronutrientes na folha e na produção do milho (*Zea mays* L.). **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 39, p. 917-941, 1982.

OKUMURA, R. S. et al. Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com ureia tratada com inibidor de uréase. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 157-170, 2013. Disponível em:

<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/10354/pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2013

OLIVEIRA, E. L. et al. Tolerância de cultivares de milho a acidez do solo e eficiência de resposta a calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 9, p. 1045-1051, 1983.

OLIVEIRA, M. A. et al. Componentes de produção e produtividade do milho em resposta a doses de fósforo e inoculação com *Pseudomonas fluorescens*. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 2012. Disponível em: <http://www.abms.org.br/29cn_milho/06493.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2013.

PATERNIANI, E. Métodos tradicionais de melhoramento de milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p. 22-43.

PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 38, n. 2, p. 358-364, mar./abr. 2008.

PENCOE, N. L.; MARTIN, P. M. Development and reproduction of fall armyworm on several wild grasses. **Environmental Entomology**, College Park, v. 10, p. 999-1002, 1981.

PING, J.; BREMER, E.; JANZEN, H. H. Foliar uptake of volatilized ammonia from surface-applied urea by spring whea. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 31, n. 1-2, p. 165-172, 2000.

PINTO, A. S.; PARRA, J. R. P.; OLIVEIRA, H. N. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos do milho e sorgo**. Ribeirão Preto: A. S. Pinto, 2004. 108 p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 83-90, 2001.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Unesp, 2008.

QUAGGIO, J. A. et al. Calagem para sucessão batata-tritcale-milho usando calcário com diferentes teores de magnésio. **Bragantia**, Campinas, v. 44, p. 391-406, 1985.

QUAIM, M.; MATUSCHKE, I. Impacts of genetically modified crops in developing countries: a survey. **Quarterly Journal of International Agriculture**, Frankfurt Am Main, v. 44, p. 207-217, 2005.

RABELO, F. H. S.; REZENDE, A. V.; RABELO, C. H. S.; AMORIM, F. A., Características agronômicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silage. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 3, p. 635-643, jul-set, 2013.

RAIJ, B. van. Disponibilidade de potássio em solo do Brasil. Potássio na agricultura brasileira. In: YAMANDA, T. et al. (Eds.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto de Potassa e do Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, Fundação IAPAR, 1982. p. 67-76.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 56-59. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.106-114.

RAIJ, B.V., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Boletim técnico 100, Campinas, 285 p., 1997.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

REIS, A. J. **Custos de produção**. Lavras: ESAL, 1987. 18 p. Apostila.

REIS, M. J. L. **ISO 14000 gerenciamento ambiental**. São Paulo: Qualitymark, 1997.

REIS, A. R. et al. Metodologia e técnicas experimentais diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

RICHETTI, A.; MELO FILHO, G. A.; PARIZOTO, A. M. **Estimativa de custo de produção de soja, safra 1996/97**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1996. 3 p. (Comunicado Técnico, 13).

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2003. 20 p. (Informações Agrônomicas, 103).

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.

SANZONOWICZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 45-50, 1985.

SCHRÖDER, J. J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 151-154, 2000.

SANTOS, G. J. **Administração de custos na agropecuária**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1996. 139 p.

SARMENTO, P.; CORSI, M.; CAMPOS, F.P.; Eficiência do fosfato natural de Gafsa associado à calagem e gesso e sintomas nutricionais da alfafa, *Medicago sativa* L. **Acta Scientiarum**, 24:1155-1161, 2002

SILVA, D. R. G.; PEREIRA, A. F.; DOURADO, R. L.; SILVA, F. P.; ÁVILA, F. W.; FAQUIN, V. Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different

levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 516-523, 2011.

SILVA, E. C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre latossolo vermelho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 353-362, 2005.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. **Pes. Agropec. Bras.** 41:477-486, 2006.

SILVA, P. H. S. **Avaliação de danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidade) no milho cultivado com dois níveis de fertilidade**. 2005. 84 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIN, V. O papel dos microorganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba, 2004. YAMADA, T.; STIPP, S. R. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2004.

SOUZA, E. C. A. et al. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1031-1036, 1998.

SOUZA, L. V. et al. Genetic control of grain yield and nitrogen use efficiency in tropical maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1517-1523, 2008.

SPARKS, J. P. et al. Leaf uptake of nitrogen dioxide (NO₂) in a tropical wet forest: implications for tropospheric chemistry. **Oecologia**, Heidelberg, v. 127, p. 214-221, 2001.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo essencial para a vida. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2004, Piracicaba, 2004. YAMADA, T.; STIPP, S. R. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2004. p. 1-11.

STROMBERGER, J. A.; TSAI, C. Y.; HUBER, D. M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 17, n. 1, p. 19-37, 1994.

TENGA, A. Z.; MARIE, B. A.; ORMROD, D. P. Leaf greenness meter to assess ozone injury to tomato leaves. **HortScience**, Alexandria, v. 24, n. 3, p. 514-515, 1989.

TORRES NETTO, A. et al. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, p. 199-209, 2005.

TRENKEL, M. E. **Improving fertilizer use efficiency**: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 151 p.

ULLRICH, C. I.; NOVACKY, A. J. Extracellular and intracellular pH and membrane-potential changes induced by K^+ Cl^- H_2PO_4 and NO_3^- uptake and fusicoccin in root hair of *linnobilium-stoloniferum*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 94, n. 4, p. 1561-1567, 1990.

VAN DEN BERG, A. K.; PERKINS, T. D. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 200, p. 113-117, 2004.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M. C. M. T.,. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VALE, D. W.; PRADO, R. M. Adubação com NPK e o estado nutricional de 'citromelo' por medida indireta de clorofila. **Ciência Agronômica**, Benfca, v. 40, n. 2, p. 266-271, 2009. Disponível em: <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/520/338>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

VALICENTE, F. H. **Parecer sobre a liberação comercial do milho MON89034**, 2009. Disponível em: <www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0001/1225.doc>. Acesso em: 20 out. 2011.

_____. **CTNBIO. Parecer sobre a liberação comercial do milho MON89034**, 2009. Disponível em: <http://www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0001/1225.doc>. Acesso em: 15 set. 2010.

VENDRAMIM, J. D.; FANCELLI, M. Efeito de genótipos de milho na biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). In: SOCIEDADE ENTOMOLÓGICA DO BRASIL, 1988, **Anais...**, 1988. v. 17, p. 141-150.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: SIMPÓSIO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2006, Piracicaba. YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. E.; VITTI, G. C. (Eds.). **Anais...** Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. 722 p.

URANO, E. O. M. et al. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1421-1428, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World agricultural supply and demand estimates**. 2013. Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2013.

YADAVA, U.L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, 21:1449-1450, 1986.

YIELDGARD. **Manejo de pragas com uso de milho Yieldgard®**. 2009. Disponível em: <<http://www.yieldgard.com.br/manejo.asp>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

WU, J. et al. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 101, n. 1, p. 96-103, 2007.