

ROBERTO AKITOSHI KOMATSU

**EFEITO DO NITROGÊNIO E SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E SEVERIDADE
DA MANCHA DE CERCOSPORA NA CULTURA DO MILHO**

**MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2009**

ROBERTO AKITOSHI KOMATSU

**EFEITO DO NITROGÊNIO E SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E SEVERIDADE
DA MANCHA DE CERCOSPORA NA CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doutor.

**MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

K81e Komatsu, Roberto Akitoshi
 Efeito do nitrogênio e silício na produtividade e
 severidade da mancha de cercospora na cultura do milho
 / Roberto Akitoshi Komatsu. -- Maringá : [s.n.], 2009.
 77 f. : il. color.

 Orientador : Prof^a. Dr^a. Maria Anita Gonçalves da
 Silva.

 Co-orientador : Prof. Dr. Dauri José Tessmann
 Tese (doutorado) - Universidade Estadual de
 Maringá, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área
 de concentração: Solos e Nutrição de Plantas, 2009.

 1. Milho (Zea mays L.) - Nutrição mineral. 3.
 Milho (Zea mays L.) - Nitrogênio - Efeito. 4. Milho
 (Zea mays L.) - Silício - Efeito. 5. Milho (Zea mays
 L.) - Cercospora - Severidade. 6. Milho (Zea mays L.) -
 Produtividade. I. II. Universidade Estadual de
 Maringá. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Área
 de concentração: Solos e Nutrição de Plantas. III.
 Título.

CDD 21.ed.633.15085

ROBERTO AKITOSHI KOMATSU

**EFEITO DO NITROGÊNIO E SILÍCIO NA PRODUTIVIDADE E SEVERIDADE
DA MANCHA DE CERCOSPORA NA CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doutor.

APROVADO em: 26 de fevereiro de 2009

Prof. Dr. José Francisco Grillo

Prof. Dr. Valdir Lourenço Júnior

Prof. Dr. Dauri José Tessmann

Prof. Dr. Antonio Saraiva Muniz

Profa. Dr. Maria Anita Gonçalves da Silva
(Orientadora)

À minha amada esposa Cristina Shigueko Outida Komatsu

Aos meus queridos filhos

Ian Kenji Komatsu e

Igor Yuzo Komatsu

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo maravilhoso milagre da vida terrena e eterna. Meu sustentador que fortalece e incentiva nos momentos de fraqueza e alegria, Glória a Deus Pai, Filho (JESUS) e Espírito Santo.

À minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Maria Anita Gonçalves da Silva pela sua presença, paciência, força, determinação e pelo conhecimento obtido através de suas importantes contribuições.

Ao professor Dr. Dauri José Tessmann pela parceria, paciência, incentivo e amizade durante a realização deste trabalho.

À Faculdade Integrado de Campo Mourão pela confiança e concessão de bolsa investido.

À Coordenação do Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, pela oportunidade concedida.

Aos professores do departamento de Agronomia da UEM pelos inestimáveis ensinamentos.

Aos professores e colegas Dr. Lucas Silvério e MSc. Edmar Vasconcelos da Faculdade Integrado e ao Rafael Vieira da Universidade Estadual de Maringá pelo apoio, consultas e análises estatísticas.

Aos funcionários e colegas da Faculdade Integrado de Campo Mourão Moacir da Silva, José Petruisse, Andréa Macena, Tatiane Zeniqueli, Cesar Pietrowski, Renato Góes, Markioney Rengel, Hevertton Brasil, Antonio Moreira Campos Junior e Rodrigo Cois.

Aos Engenheiros Agrônomos Paulo Fabris e Curione

Ao professor Dr. Gaspar Henrique Korndörfer da Universidade Federal de Uberlândia.

Aos irmãos em Cristo Jesus da Igreja Holiness de Maringá e Metodista de Campo Mourão, pela paciência, torcida e acima de tudo pelas orações.

Aos meus pais Susumu Komatsu e Raura Komatsu pelo incentivo e confiança em todos os momentos de minha vida.

“O temor do Senhor é o princípio do saber.”

(Provérbios de Salomão).

BIOGRAFIA

ROBERTO AKITOSHI KOMATSU, filho de Susumu Komatsu e Raura Komatsu, nasceu na cidade de Guaraçai, Estado de São Paulo, no dia 05 de junho de 1968. Em fevereiro de 1993 diplomou-se como Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Maringá. Atuou como consultor em fruticultura nos anos de 1993, 2000 a 2004 no município de Marialva, PR. Através de processo seletivo para contratação de professor na Faculdade Integrado de Campo Mourão, iniciou carreira docente no curso de Agronomia nas disciplinas de Fruticultura, Olericultura, Cultivo de grãos, Cultivos Agroindustriais, até a presente data. Em maio de 2003 obteve o título de Mestre em Agronomia pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, com a dissertação intitulada: Epidemiologia do míldio (*Plasmopara viticola*) na cultura de uva fina de mesa (*Vitis vinifera*) na região noroeste do Paraná. Em março de 2005, ingressou no programa de Pós-graduação em Agronomia, em nível de Doutorado, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Estadual de Maringá.

ÍNDICE

RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Importância da cultura do milho	4
2.2 Importância dos nutrientes para a cultura do milho	4
2.2.1 Nitrogênio e produtividade do milho	5
2.2.2 Nitrogênio e incidência de doenças	7
2.2.3 Silício: função nas plantas	9
2.2.4 Silício: doenças e produtividade de culturas	10
2.2.5 Mancha de cercospora	12
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
EFEITO DO NITROGÊNIO E SILÍCIO NO PROGRESSO TEMPORAL DA MANCHA DE CERCOSPORA NO MILHO	22
RESUMO	22
1 INTRODUÇÃO	23
2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 Caracterizações da área experimental	25
2.2 Amostragem e análises do solo	26
2.3 Caracterizações dos híbridos utilizados	27
2.4 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos	27
2.5 Semeadura do milho e tratos culturais	28
2.6 Aplicações dos tratamentos: adubação nitrogenada e silício via foliar	29
2.7 Análises químicas dos teores de N, Si, Ca, Mg, P e K no tecido vegetal	29
2.8 Colheita	30
2.9 Avaliações da mancha de cercospora e análise da curva de progresso da doença	31
2.10 Análises estatísticas	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1 Adubação e severidade da mancha de cercospora no genótipo AG-9010	33
3.1.1 Adubação nitrogenada e absorção de N, P e Mg	33

3.1.2 Adubação nitrogenada e silicatada e absorção de K e Ca.....	35
3.1.3 Efeito da adubação nitrogenada e silicatada no progresso da mancha de cercospora	37
3.1.4 Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do milho	39
3.1.5 Correlações entre a absorção de nutrientes e a severidade de mancha de cercospora no milho.....	40
3.2 Adubação e severidade da mancha de cercospora no genótipo DKB-330	41
3.2.1 Adubação nitrogenada e absorção de N, P, Ca e Mg	42
3.2.2 Adubação nitrogenada e silicatada na severidade da mancha de cercospora	43
3.2.3 Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do milho	45
3.2.4 Interação da adubação nitrogenada e silicatada na absorção do silício .	46
3.2.5 Correlações entre a absorção de nutrientes pelo milho e mancha de cercospora	47
4 CONCLUSÕES	49
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
EFEITO DO NITROGÊNIO E SILÍCIO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA CULTURA DO MILHO	55
RESUMO	55
1 INTRODUÇÃO	56
2 MATERIAL E MÉTODOS	58
2.1 Caracterização da área experimental	58
2.2 Amostragem e análises do solo	58
2.3 Caracterizações dos híbridos utilizados.....	59
2.4 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos.....	59
2.5 Semeadura do milho e tratos culturais.....	60
2.6 Aplicação dos tratamentos com adubação nitrogenada e silício via foliar .	61
2.7 Colheita.....	62
2.8 Avaliações dos componentes de produção.....	62
2.9 Análises estatísticas.....	63
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.1 Características agronômicas do genótipo AG-9010.....	64
3.1.1 Produção de massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) do genótipo AG-9010	64
3.1.2 Produtividade de grãos do genótipo AG-9010	66
3.2 Resposta do genótipo DKB-330 à adubação com nitrogênio e silício.....	68

3.2.1 Produção de massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) do genótipo DKB-330.....	68
3.2.2 Comprimento médio das espigas do genótipo DKB-330.....	69
3.2.3 Produtividade do genótipo DKB-330 relacionada à adubação nitrogenada	70
4 CONCLUSÕES.....	72
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

RESUMO

KOMATSU, Roberto Akitoshi. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2009. **Efeito do nitrogênio e silício na produtividade e severidade da mancha de cercospora na cultura do milho.** Orientadora: Professora Doutora Maria Anita Gonçalves da Silva. Co-orientador: Professor Doutor Dauri José Tessmann.

Com o objetivo de analisar a influência de doses de nitrogênio e silício sobre a produção de milho (*Zea mays* L.) em presença de mancha de cercospora (*Cercospora zeae-maydis*) no município de Campo Mourão - PR foram realizados experimentos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial 4x4. Os tratamentos tiveram quatro doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), quatro doses de silício via foliar (0; 1,25; 2,50 e 3,75 kg ha⁻¹) e dois genótipos de milho com diferentes níveis de resistências à mancha de cercospora, sendo eles: AG-9010 (Baixa resistência) e DKB-330 (Resistente), totalizando 64 parcelas por genótipo. Foi verificado para os dois genótipos que as maiores absorções de nitrogênio, fósforo e potássio estavam relacionados com a diminuição da severidade da mancha de Cercospora. A aplicação de doses de silício demonstrou menor intensidade da doença no genótipo AG-9010 com menor tolerância. A adubação nitrogenada e silicatada reduziram linearmente o aparecimento da doença no genótipo DKB-330. A adubação nitrogenada proporcionou a maior produtividade média na dose de 116,1 kg ha⁻¹ (AG-9010) e 120,1 kg ha⁻¹ (DKB-330). A adubação silicatada apresentou produtividade média máxima de 2,31 kg ha⁻¹.

Palavras chave: *Zea mays* L., nutrição mineral, *Cercospora zeae-maydis*, produtividade.

ABSTRACT

KOMATSU, Roberto Akitoshi. Universidade Estadual de Maringá, february of 2009. **Effect of nitrogen and silicon in the productivity and severity of the Gray leaf spot in the corn crop.** Adviser: Dr. Maria Anita Gonçalves da Silva. Co-adviser: Dr. Dauri José Tessmann.

With the aim to analyze the influence of rates of nitrogen and silicon on corn yield (*Zea mays* L.) in the presence of gray leaf spot (*Cercospora zeae-maydis*) at Campo Mourão city, were studied experiment randomized blocks with four replicates, design in a factorial scheme with four nitrogen rates in coverage (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹), four silicon rates sprayed (0; 1,25; 2,50 and 3,75 kg ha⁻¹) and two genotypes corn with different response the gray leaf spot, which were: AG-9010 (low resistance) and DKB-330 (resistance), in a total of 64 plots per genotype. Was observed for both genotypes that the greatest absorption of nitrogen, phosphorus and potassium were related to the decrease of the GLS. The application of silicon rates showed lower onset of disease in the AG 9010 genotype. Nitrogen and silicate fertilization linearly reduced the disease in DKB-330 genotype. Nitrogen fertilization provides the highest average productivity grain in the 116,1 kg ha⁻¹ (AG-9010) and 120,1 kg ha⁻¹ (DKB-330) rates. Silicon fertilization presented the highest average grain productivity on the 2,31 kg ha⁻¹ rate.

Key words: *Zea mays* L., mineral nutrition, *Cercospora zeae-maydis*, productivity.

1 INTRODUÇÃO

A importância econômica do milho (*Zea mays* L.) é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. O uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal (70% no mundo). Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80% (EMBRAPA, 2006).

Em 2008, a cultura do milho no Brasil ocupou uma área próxima de 14 milhões de hectares e uma produção total de 58,6 milhões de toneladas de grãos, com uma produtividade média de 3.405 kg ha⁻¹, e para a safra 2008/2009 a previsão de produção de milho deve ficar em 49,8 milhões de toneladas, com uma área plantada próxima dos 14,6 milhões de hectares, sendo que o Paraná responde por cerca 17,1% de área plantada (FNP, 2009).

O rendimento do milho pode ser influenciado por fatores como a disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, população de plantas, sistema de cultivo, potencial produtivo do híbrido e manejo de plantas daninhas, pragas e doenças (SANDINI & FANCELLI, 2000; FANCELLI & DOURADO-NETO, 2003).

Como produtividade e resistência a doenças geralmente são negativamente correlacionados, existem híbridos de excelente potencial de produtividade, porém que apresentam níveis insatisfatórios de resistência a pragas e doenças. Esse problema se agrava ante a extrema variabilidade de condições ambientais nas regiões produtoras de milho, quanto à ação dos agentes bióticos e abióticos, que podem inviabilizar a exploração agrícola quando utilizam sementes de milho híbrido com padrões de desempenho às doenças pouco definidas. De fato, esse problema tem ocorrido frequentemente no Brasil e há casos onde se registram perda total devido à severidade de ataque da doença (FERREIRA, 1999).

A cultura do milho (*Z. mays* L.) está sujeita a uma série de doenças que afetam folhas, colmos e espigas (BALMER & PEREIRA, 1987), sendo as doenças foliares responsáveis pela redução de 40% de produtividade (CASA & REIS, 2003). O aparecimento das doenças no milho cresce anualmente, em

razão do incremento de áreas irrigadas, bem como pela utilização da sucessão de cultura, com o milho safrinha, procedimento que favorece a sobrevivência de patógenos na área agrícola (TOMAZELA, 2005).

Na década atual, a principal doença no milho é a mancha de *Cercospora* (FANTIN et al., 2001; CASELA & FERREIRA, 2003; PEREIRA et al., 2005). Sabe-se que uma planta equilibrada do ponto de vista nutricional é mais resistente ao ataque de pragas e doenças, justificada pelo melhor aproveitamento da água absorvida, e uma melhor eficiência fotossintética, com produção de fotoassimilados, que a torna menos vulnerável à entrada de patógenos. Porém existem poucos estudos que relacionam o aparecimento de doenças ao estado nutricional das plantas. A adubação com silício ajuda na resistência às doenças, como a *Cercospora*, pelo milho, pois age como uma barreira física natural nas folhas, em função da deposição de sílica na parede celular (EPSTEIN & BLOMM, 2006), além do estímulo à produção pela planta, de fitoalexinas, substâncias tóxicas aos microorganismos. Da mesma forma, uma adubação equilibrada com nitrogênio influencia positivamente a produtividade do milho (LOURENTE et al., 2007; ARF et al., 2007; SILVA et al., 2007; LARA CABEZAS & SOUZA, 2008; LARA CABEZAS et al., 2008; SILVA et al., 2009; DUETE et al., 2009). Porém ainda faltam estudos relacionados ao efeito da aplicação de nitrogênio e silício, de forma conjunta, na severidade da *Cercospora* em milho.

Sendo assim, o trabalho tem como objetivos: a) avaliar o efeito da aplicação de doses de nitrogênio, em cobertura no solo e de silício foliar, sobre a severidade de aparecimento da mancha de *Cercospora* no milho em cultivares mais e menos resistentes a doença; b) relacionar a adubação nitrogenada e silicatada aos componentes de produção na cultura do milho.

HIPÓTESES DO TRABALHO

(i) a severidade da mancha de cercospora na cultura do milho é dependente do material genético, com maior ocorrência no cultivo mais sensível; (ii) a adubação silicatada faz diminuir a severidade da Cercospora, mesmo quando a adubação nitrogenada é aplicada em altas quantidades e (iii) a produtividade do milho é afetada pela interação entre adubação nitrogenada e silicatada, caracterizada através de variáveis fitotécnicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cultura do milho

O milho se apresenta no Brasil como um grão de grande importância sócio-econômica devido aos diversos usos, destacando-se a alimentação de animais, alimentação humana e obtenção de bioenergia, sendo cultivado em praticamente todo o território nacional e em diversos níveis de tecnologia (PALHARES, 2003).

Essa cultura é indispensável para impulsionar diversos complexos agroindustriais na área de alimentação humana e animal (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, sendo superado apenas pelos Estados Unidos e pela China. A produção na safra 2007/08 foi de 58,6 milhões de toneladas, sendo 14% superior à produção da safra anterior (2006/07), e apresentou produtividade média de $3,4 \text{ t ha}^{-1}$ (FNP, 2009).

A produtividade média brasileira encontra-se muito aquém do desejável, pois a média nacional corresponde a 3.405 kg ha^{-1} (safra 2007/08), valor muito abaixo dos 9.360 kg ha^{-1} , que representa a média de produtividade dos Estados Unidos.

2.2 Importância dos nutrientes para a cultura do milho

Estresses nutricionais causam redução no rendimento e na qualidade do produto colhido. Portanto, o controle do desequilíbrio nutricional deve ser realizado de forma integrada com os métodos de correção e prevenção, para reduzir os custos de aplicação de fertilizantes e corretivos (COSTA, 2001).

Mais que a ação de cada nutriente, o equilíbrio nutricional parece ser de suma importância à sanidade vegetal e produtividade, devido à complexidade dos efeitos antagônicos e sinérgicos existentes entre os macros e micronutrientes (YAMADA, 1995).

2.2.1 Nitrogênio e produtividade do milho

Do ponto de vista econômico e ambiental, a dose de nitrogênio a aplicar é, para muitos, a mais importante decisão no manejo do fertilizante. A crescente adoção do sistema de cultivo em plantio direto, no Brasil, e a necessidade de utilizar culturas de cobertura e rotação de culturas, visando à sustentabilidade desse sistema, são aspectos que devem ser considerados na otimização da adubação nitrogenada (EMBRAPA, 2006), principalmente porque é o nutriente que mais onera o custo de produção (SILVA et al., 2005; AMADO et al., 2002).

Para a cultura de milho, o nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade e por isso apresenta significativo efeito no aumento de produtividade da cultura, o que o torna um dos mais importantes e mais estudados por pesquisadores de todo o mundo (BULL, 1993). Da mesma forma, é mais exportado pelo milho, uma vez que a cada tonelada de grãos produzida são exportados aproximadamente 15 kg de N. Já Yamada (1996) estima que a necessidade de N para produção de uma tonelada de grãos de milho varia de 20 a 28 kg ha⁻¹, onde a sua absorção pela planta ocorre durante todo o ciclo vegetativo, sendo pequena nos primeiros 30 dias. Nesta fase, as plantas absorvem menos do que 0,5 kg ha⁻¹dia⁻¹.

A absorção de nitrogênio pelo milho acontece em todo seu ciclo vegetativo, sendo em pequena quantidade no primeiro mês, aumentando consideravelmente a partir daí, atingindo taxa superior a 4,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio por dia, durante todo o florescimento (CRUZ et al., 1996). O milho acumula 43% do nitrogênio que necessita entre 25 e 45 dias após a emergência, e nas fases de desenvolvimento pleno, ainda vai absorver 31% de suas necessidades totais (MUZILLI et al., 1989).

O milho define produção quando se encontra no estágio V4 ou quatro folhas plenamente expandidas, com isso, mesmo absorvendo pequenas quantidades a adubação nitrogenada nesse período é de fundamental importância para obtenção de altas produtividades (FANCELLI & DOURADO NETO, 2003; EMBRAPA, 2006).

O nitrogênio é quase sempre analisado em termos de aumento de produtividade, no entanto, esse nutriente tem efeito na qualidade do produto

colhido, em relação ao teor protéico dos grãos e, na resistência aos ataques de pragas e doenças (YAMADA, 2004).

Estudos relatados por DeParis et al. (2007) relacionados aos efeitos da adubação com sete níveis de N (8, 20, 40, 80, 120, 140 e 152 kg ha⁻¹) em cobertura sobre a qualidade de grãos de milho híbrido (Penta, híbrido simples), em plantio direto (LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico), mostraram que a massa seca de parte aérea e produtividade aumentou linearmente com incrementos das doses de N, obtendo máximas produções com a dose de 152 kg ha⁻¹, e não influenciaram significativamente o número de fileiras e massa de mil grãos. Além disso, verificaram efeito significativo para teor de N no tecido foliar e não significativo para P e K foliar. Pela análise de regressão, o efeito das doses de N sobre os teores de N foliar, foi linear decrescente, que possivelmente, estaria relacionado ao efeito de diluição, pois foi semeado no espaçamento de 0,67m deve ter ocorrido aumento da produção de biomassa seca da parte aérea e, conseqüentemente, menor teor no tecido foliar.

Campos (2004) utilizando sulfato de amônio como fonte de adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, encontrou também resposta linear para as doses crescentes de nitrogênio.

Costa (2001) e Cruz et al. (2008) estudando efeito da adubação com diferentes níveis de nitrogênio em cobertura, também com sulfato de amônio, sobre cinco genótipos de milho, mostraram que a produção de grãos aumentou com incremento das doses de nitrogênio, porém de forma linear ou quadrática de acordo com os genótipos.

Coelho et al. (1992); Fernandes et al. (1998) utilizando como fonte de nitrogênio a uréia, relatam que a produção de grãos de milho aumentou de forma quadrática com o aumento das doses de nitrogênio, sendo a máxima eficiência econômica (90% da máxima produção) na doses de 80 kg N ha⁻¹.

As alterações fisiológicas, decorrentes de distúrbios nutricionais, são mais evidentes nas folhas. A diagnose foliar via análise química, possibilita a avaliação do estado nutricional, ou seja, permite identificar o nível de comprometimento da produtividade (RAIJ et al., 1977). A análise química da folha serve para aferir a recomendação de adubação para o próximo ciclo (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000). A faixa de teor total de N adequado

em folhas de milho na floração varia de 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ (MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1997).

Oliveira e Caires (2003) estudaram os efeitos de doses crescentes de N (30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) em cobertura na cultura do milho e quatro modos de aplicação de fontes nitrogenadas (uréia na superfície; uréia incorporada; sulfato de amônio na superfície; e uréia mais sulfato de amônio na superfície), verificaram aumento linear da produtividade, relacionado com o aumento do número de grãos por espiga e da massa de 1.000 grãos que resultou em aumento da massa de espigas por planta, confirmando a importância do N como componente de aminoácidos que fazem parte da estrutura das proteínas (BUTZEN & CUMMINGS, 1999). Além disso, verificaram aumento linear dos teores de N e P foliar, independente do modo de aplicação, e as doses de N não influenciaram os teores de Ca, Mg e K.

Fernandes (2006) e Veloso (2006) também observaram que o teor de N nas folhas do milho, no florescimento, ajustou-se a uma função linear crescente com concentrações de 24,9 e 34,6 g kg⁻¹ de N total nas folhas (120 e 170 kg ha⁻¹ de N em cobertura), respectivamente, em plantio direto.

2.2.2 Nitrogênio e incidência de doenças

A alta concentração de nitrogênio reduz a produção de compostos fenólicos e de lignina das folhas, diminuindo a resistência aos patógenos biotróficos, mas não aos necrotróficos. Como regra, todos os fatores que favorecem as atividades metabólicas e de síntese das células hospedeiras (por exemplo: adubação nitrogenada) também aumentam a resistência aos necrotróficos, que preferem tecidos senescentes. Além disso, o nitrogênio aumenta também a concentração de aminoácidos e de amidas no apoplasto e na superfície foliar, que aparentemente têm maior influência que os açúcares na germinação e no desenvolvimento das doenças fúngicas (MARSCHNER, 1995) e; com favorecimento a estas doenças pelo excesso de nitrogênio, ocorrendo principalmente nos casos onde fósforo e potássio estiverem em níveis baixos.

Caldwell et al. (2002), estudando híbrido de milho suscetível a *Cercospora zea-maydis*, verificaram que no tratamento com fungicida, a produtividade de grãos reduziu com o aumento das doses de N (sem K) e ocorreu aumento da área abaixo da curva de progresso de cercospora (AACPC) e; quando aumentaram as doses de K (25, 50 e 150 kg ha⁻¹) a produtividade aumentou mesmo a AACPC aumentando, verificando-se assim, a importância do K em interação com N para o aumento da produtividade, mesmo na ocorrência da doença.

Relatos de trabalhos avaliando a interação de nutrientes com a severidade de doenças em milho são recentes no Brasil. Costa (2001) estudando efeito de doses de N (0, 42, 84, 126 e 168 kg ha⁻¹) em cobertura em sistema de plantio direto em duas localidades (Campus “Luiz de Queiroz” e, Estação Experimental de Anhembi); quatro épocas de semeadura (Cedo, Normal, Tardia e Safrinha); e cinco híbridos de milho com diferentes respostas a *Phaeosphaeria maydis* (P-30F45 - suscetível C-333B - tolerante, P-30K75 – média resistência, CO-9560 - resistente e C-909 - tolerante) verificou-se que a adubação nitrogenada aumentou o rendimento médio para todos os genótipos de 236% e; para o genótipo suscetível, nas semeaduras tardias, a área foliar doente variou (ajuste quadrático) em função do incremento da doses aplicada de N de 38% (0 kg ha⁻¹) a 73% (240 kg ha⁻¹), sendo que para os genótipos tolerantes foi de 0,5% (0 kg ha⁻¹) a 8 % (240 kg ha⁻¹).

Parentoni et al. (1996), da mesma forma, verificou um aumento drástico da severidade de *P. maydis* em milho com o aumento das doses de N. Por outro lado, o híbrido resistente, foi tolerante na dose mais alta de N (130 kg ha⁻¹), evidenciando que o uso de doses adequadas do nutriente pode ser um fator importante no manejo dessa doença.

A utilização de adubações equilibradas, dentro do aspecto nutricional do milho, visando o controle de doenças, pode ser uma das estratégias para minimizar o aparecimento de algumas doenças (SILVA & MENTEN, 1997). Sendo assim, genótipos com boa resistência às doenças foliares estão menos sujeitos ao que denominamos “estresse” doença, pois exibem maior equilíbrio fisiológico, ou seja, menor desbalanceamento dos fotossintatos no interior da planta (COSTA, 2001).

Porém, até o momento, não existem resultados de pesquisas relacionadas à aplicação com nitrogênio na severidade do aparecimento de doenças, inclusive a cercospora, na cultura do milho.

2.2.3 Silício: função nas plantas

O silício (Si) não é considerado elemento essencial às plantas (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997; MENGEL & KIRKBY, 2001) porque não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. De acordo com o critério direto de essencialidade, um elemento é considerado essencial quando faz parte de um composto ou participa de uma reação necessária para a sobrevivência da planta. No critério indireto, um elemento é essencial quando, na sua ausência, a planta não completa seu ciclo de vida, não pode ser substituído por nenhum outro elemento, tem efeito direto no crescimento e desenvolvimento das plantas e não exerce nenhum papel neutralizador de efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis para a planta (MALAVOLTA, 1980).

A legislação brasileira de fertilizantes admite o silício como um elemento benéfico, e também como um micronutriente (BRASIL, 2006).

Mesmo não sendo essencial, a absorção e o acúmulo de Si pelas plantas trazem inúmeros benefícios (MARSCHNER, 1995).

Podem-se dividir os efeitos benéficos do Si, relatados por Marschner, (1995) sobre o crescimento das plantas em dois grupos: benefício físico e fisiológico. Os benefícios físicos estão relacionados ao acúmulo do Si na parede celular das plantas, reduzindo a perda d'água, melhorando a arquitetura das plantas e constituindo barreira física à penetração de fitopatógenos e de insetos (BOWEN et al., 1992; SAMUELS et al., 1993; EPSTEIN, 1994; BÉLANGER et al., 1995; MARSCHNER, 1995; DATNOFF et al., 1997; POZZA & POZZA, 2003; SANTOS et al., 2005).

Os benefícios fisiológicos são pouco estudados, porém, alguns autores relatam que o silício exerce a função de ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa (bioquímico) nos locais de penetração dos fungos onde apresentam maior acúmulo de silício nesses pontos de infecção, ocorrendo

aumento da síntese de compostos fenólicos, que atuam como substâncias inibidoras ao desenvolvimento dos fungos (CHÉRIF et al., 1992; CHÉRIF et al., 1994; EPSTEIN, 1999).

No caso das dicotiledôneas, Menzies et al. (1991) observou uma mudança drástica na expressão da defesa de células da epiderme de pepineiro colonizadas por *Podosphaeria xanthii*. Compostos fenólicos se acumularam de forma mais rápida nas células de plantas recebendo Si e infectadas pelo fungo do que nas células de plantas não recebendo esse elemento.

Bélanger et al. (2003), após marcação citoquímica com sonda específica, reportaram uma extensiva deposição de fenóis glicosilizados na parede das células da epiderme de trigo recebendo Si e colonizadas por *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*.

Rodrigues et al. (2003) investigaram em nível ultraestrutural e citoquímico os eventos da patogênese na interação arroz-*Magnaphorte. grisea* com a aplicação de Si, onde apresentaram as primeiras evidências citológicas de que o aumento na resistência do arroz à brusone mediada pelo Si foi devido ao acúmulo de compostos fenólicos. Em outro estudo, Rodrigues et al. (2004), separaram duas fitoalexinas caracterizadas como momilactona A e momilactona B, que foram induzidas em pequenas quantidades em plantas não inoculadas sem ocorrer nenhuma diferença entre plantas recebendo ou não a aplicação de Si. Ao contrário, a indução dessas momilactonas foi 2,5 vezes maior em extrato de plantas recebendo Si e inoculadas com *M. grisea* do que no extrato de plantas inoculadas sem receberem Si.

2.2.4 Silício: doenças e produtividade de culturas

Pesquisas realizadas com diversas culturas confirmaram o potencial do silício na redução da intensidade de doenças (MENZIES et al., 1991; BOWEN et al., 1992; CHÉRIF et al., 1994; DATNOFF et al., 1997; RODRIGUES et al., 2002).

O silício é utilizado no manejo de doenças por reduzir as severidades em várias culturas (EPSTEIN, 1999). O silício pode atuar na constituição de barreira física de maneira a impedir a penetração de fungos e afetar os sinais

entre hospedeiro e o patógeno, resultando na ativação mais rápida e extensiva dos mecanismos de defesa, pré e pós-formados da planta (CHÉRIF et al., 1992; CHÉRIF et al., 1994; EPSTEIN, 1999). Como função estrutural, proporciona mudanças anatômicas nos tecidos, como função celular epidérmica com a parede celular mais espessa devido à deposição de sílica nas mesmas (BLAICH & GRUNDHÖFER, 1998), favorecendo a melhor arquitetura das plantas, além de aumentar a capacidade fotossintética e resistência às doenças e pragas (BÉLANGER & MENZIES, 2003).

Plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas com doses crescentes desse elemento tiveram a severidade da queima-das-bainhas (*Rhizoctonia solani* Kühn) reduzida (RODRIGUES et al., 2002). Pepineiros (*Cucumis sativus* L.) inoculados com *Podosphaeria fuliginea*, agente etiológico do oídio, e cultivados em solução nutritiva suplementada com silicato de sódio apresentaram menor número de colônias por folha, menor área da colônia e redução no poder germinativo dos conídios quando comparadas com aquelas onde o silício não foi adicionado à solução nutritiva (MENZIES et al., 1991).

Existe um efeito benéfico do Si no controle de doenças de plantas (VITTI et al., 1997; LIMA FILHO et al., 1998; EPSTEIN et al., 1999), e diversos resultados de redução de doenças em culturas como mancha parda em arroz (DATNOFF et al., 1991); cercosporiose do cafeeiro (POZZA et al. 2004); ferrugem da soja (LIMA, 2006); brusone em arroz (PRABHU et al., 2007)

Avaliando doses de Si na cultura do arroz, Santos et al. (2003) encontraram aumento linear na produtividade de grãos e diminuição linear para *Pyricularia grisea* em condições de campo.

Efeitos de silício sobre a produtividade do milho foram estudados por Prado e Korndörfer (2003), em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, com dose de Si (0, 500, 1000, 2000 e 4000 kg ha⁻¹) utilizando um resíduo como fonte, escórias de siderurgia, e não obtiveram aumento de produtividade de grãos de milho. Outros relatos sobre a influência de doses de Si na produtividade em arroz, também relatam que não foram significativos em condições de campo (MARCHESAN et al., 2004; REIS et al, 2008), bem como em condução de ambiente protegido (MAUAD et al. 2003; RAMOS et al., 2008).

Porém até o momento, não existem resultados de pesquisas relacionadas à aplicação de silício na severidade do aparecimento de doenças, inclusive a cercospora, na cultura do milho.

2.2.5 Mancha de cercospora

O impacto das doenças na cultura do milho cresce anualmente, em razão do incremento de áreas irrigadas, bem como pela utilização da sucessão de cultura com o plantio de milho em safrinha, procedimento que favorece a sobrevivência de patógenos na área agrícola (TOMAZELA, 2005).

A mancha de cercospora, ou cercosporiose também conhecida como mancha cinzenta da folha do milho foi relatada no Brasil pela primeira vez em 1934, por Viégas e Krug em Campinas no Estado de São Paulo (VIÉGAS, 1945).

Até recentemente, era considerada de pouca importância. Nas safras de 2000 e 2001, no entanto, a doença se manifestou com grande severidade em vários híbridos altamente produtivos. Desde então, a cercosporiose figura entre as doenças mais importantes da cultura na atualidade (REIS et al., 2004; KIMATI et al., 2005).

Ward et al. (1996) constataram danos no rendimento de grãos de até 50% em algumas lavouras no cinturão do milho americano. Os componentes do rendimento mais afetados pela cercosporiose são: número de grãos por espiga e o tamanho dos grãos, decorrente dos tecidos fotossintéticos tornarem-se não funcionais devido às lesões necrosadas e/ou seca de toda a folha. Devido a essas perdas de áreas fotossintéticas, esses fotoassimilados são divergidos para o caule e para as raízes em maiores níveis que o normal, promovendo a senescência prematura (DODD, 1980; REIS et al., 2004).

Os primeiros sintomas são observados geralmente na fase de floração e nas folhas baixas (LIPPS, 1987; WARD et al., 1999), onde o patógeno coloniza o limbo foliar, podendo provocar extensas áreas necróticas. As lesões foliares maduras apresentam a forma linear retangular e delimitada em larguras pelas nervuras maiores (2 a 4 mm de largura por 1 a 7 cm de comprimento) (REIS et al., 2004).

Sob condições de alta umidade, tornam-se cobertas de esporos, quando então adquirem coloração cinza. Em híbridos menos suscetíveis, as manchas são menores e geralmente acompanhadas de bordos cloróticos ou avermelhados. Os agentes etiológicos responsáveis são os fungos *Cercospora zea-maydis* Tehon & Daniels e *Cercospora sorghi* Ellis e Everh f.sp. *maydis* Ellis e Everh, sendo sua fase perfeita o ascomiceto *Mycosphaerella*, embora, este estágio não ocorra em lesões (PEREIRA et al., 2005).

A resistência ao ataque do fungo também pode estar relacionada aos genótipos de milho, como observado por Brandão (2002), que analisou a eficácia de diferentes fungicidas e épocas de aplicação na região sudoeste de Goiás, em área sob plantio direto. Na quantificação dos danos da mancha de cercospora em milho, os valores variaram de 40 a 51%, para os híbridos suscetíveis, de 19 a 27%, para os híbridos moderadamente resistentes e de 15 a 25%, para híbridos resistentes. Da mesma forma, Souza (2005) estudou a quantificação de danos de cercospora, em milho safrinha, sob plantio direto, que recebeu a aplicação de fungicida e observou valores entre 32% a 44%, para híbridos suscetíveis, de 18 a 24% para híbridos moderadamente resistentes e de 13 a 16% para híbridos resistentes.

Até o momento, não existem resultados de pesquisas relacionados à aplicação de nitrogênio e silício na severidade do aparecimento de doenças, inclusive a cercospora, na cultura do milho.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARF, O.; FERNANDES, R.N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.A. de; ANDRADE, J.A. da C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.2, p. 211-217, 2007.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho sob plantio direto no Rio Grande do Sul e Santa Catarina adaptada ao uso de culturas de cobertura de solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.241-248, 2002.

BALMER, E. & PEREIRA, O.A.P. Doenças do milho. In: PATERNIANI, E. & VIÉGAS, G.P. (Eds.) **Melhoramento e produção do milho**. 2.ed. Campinas, Fundação Cargill, p.595-634, 1987.

BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G.; Soluble silicon: its role in crops and disease management of greenhouse crops, **Plant Disease**, St. Paul, v.79, n.4, p.329-336, Apr. 1995.

BÉLARGER, R.R.; MENZIES, J.G. Use of silicon to control diseases in vegetable crops. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36, Uberlândia, **Fitopatologia Brasileira**, v.28 S, p.42-45. 2003. (Resumo).

BLAICH, R. & GRUNDHOFER, H. Silicate incrusts induced by powdery mildew in cell walls of different plant species. **Zeitschrift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, v.105, p.114-120. 1998.

BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.117, p.906-912. 1992.

BRASIL. Decreto n. 5.351, de 21 de janeiro de 2005. Instrução normativa das n. 27, 05 de junho de 2006. Legislação-inspeção e fiscalização da produção, importação e comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes no que se referem às concentrações de metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 9 jun. 2006. Seção 1, n.110, p.15-16.

BRANDÃO, A.M. **Manejo da cercosporiose (*Cercospora zae-maydis* Tehon & Daniels) e da ferrugem comum do milho (*Puccinia sorghi* Schw.) pelo uso da resistência genética, fungicidas e épocas de aplicação**. 2002. 169p. Dissertação de Mestrado. Uberlândia MG. Universidade Federal de Uberlândia. 2002.

- BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL. L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993.
- BUTZEN, S.; CUMMINGS, M. Environmental effects on proyrin content in conventional and high oil corn grain. **Crop Insights**, v.9, n.11, 1999. Disponível em: <http://www.pioneer.com/usa/crop>. Acesso em 11 de set. 2001.
- CALDWELL, P.M.; WARD, J.M.J.; MILES, N.; LAING, M.D. Assessment of the effects of fertilizer applications on gray leaf spot and yield in maize. **Plant disease**, St. Paul, v.86, p.859-866, 2002.
- CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de Amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 119 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- CASA, R.T.; REIS, E.M. Doenças na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho: estratégia de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ, 2003. p. 1-18.
- CASELA, C.; RENFRO, R.; KRATTIGER, A.F. (Eds). Diagnosing maize diseases in Latin America. **ISAAA Briefs ISAAA**: Ithaca, NY and EMBRAPA, Brasília, n.9. 57p. 1998.
- CASELA, C.R.; FERREIRA A. S. A cercosporiose na cultura do milho. Brasília: Embrapa 2003. 5p. (**Circular Técnica, 24**)
- CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R.R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, Saint Paul, US, v.84, p.236-242, 1994.
- CHÉRIF, M.; MENZIES, J.G.; BENHAMOU, N.; BÉLANGER, R.R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Patology**, v.41, p.371-385, 1992.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.10-67, 1992.
- COSTA, F.M.P. **Severidade de *Phaeosphaeria maydis* e rendimento de grãos de milho (*Zea mays* L.) em diferentes ambientes e doses de nitrogênio**. 2001. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- CRUZ, J.C.; MONTEIRO, J.A.; SANTANA, D.P.; GARCIA, J.C.; BAHIA, F.G.F.T.C.; SANS, L.M.A.; PEREIRA FILHO, I.A. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 204p.

- CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS, J.R.; ALBUQUERQUE, A.W.; PEREIRA, R.G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema de plantio direto, no Estado de Alagoas. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.1, p.62-68, 2008.
- DATNOFF, L.E.; DEREN, C.W.; SNYDER, G.H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, v.16, p.525-531, 1997.
- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v.75, n.7, p.729-732, jul.1991.
- DEPARIS, G.A.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.517-525, 2007.
- DODD, J.L. The role of plant stresses in development of corn stalk rots. **Plant Disease**, v.64, n.6, p.533-537, 1980
- DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. da; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Viabilidade econômica de doses e parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho em LATOSSOLO VERMELHO eutrófico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.1, p.175-181, 2009.
- EMBRAPA MILHO E SORGO. Milho – importância econômica. Sete lagoas, 2006. Disponível em: < //sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/> Acesso em: 10 out. 2006.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 50:641-664. 1999.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v.91, p.11-17, 1994.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba. ESALQ/USP/LPV. 2003. 208p.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 360 p.
- FANTIN, G.M. Mancha de phaeosphaeria, doença do milho que vem aumentando sua importância. **Biológico**, v. 56, n.1, p.39, 1994.
- FANTIN, G.M.; COUTINHO, A.S.V.A.; COLLETTI, M.P.B. Métodos de inoculação de *Phaeosphaeria maydis* em milho. **Fitopatologia Brasileira, Suplemento**. v.26, p.371, 2001.
- FERNANDES, F.C.S.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELOS, C.A.; GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em

latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.22, p.247-254, 1998.

FERNANDES, F.C.S. **Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo sucessivo com aveia preto (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto**. 2006. 197 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2006.

FERREIRA, J.M. **Análise genética e síntese de populações visando resistência à ferrugem (*Puccinia polysora* Underw) em milho (*Zea mays*)**. 1999. 230 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

FNP CONSULTORIA. AGRIANUAL 2009: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, 2009. 544p.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de Fitopatologia: Doença das plantas cultivadas**. 4^a. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v.2, 663p. 2005.

LARA CABEZAS, W.A.; SOUZA, M.A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade do milho, em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, n.6, p.2331-2342, 2008.

LARA CABEZAS, W.A.; RODRIGUES, C.R.; OLIVEIRA, S.M. de; BORGES, E.N. Utilização de uréia em mistura com sulfato de amônio ou com gesso na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, n.6, p.2343-2354, 2008.

LIMA, L.M. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.N. **Silício pode aumentar a resistência de plantas e doenças**. Boletim informativo do grupo de estudos "Luiz de Queiroz", n.2, p.10-11, 1998.

LIPPS, P.E. Gray leaf spot epiphytotic in Ohio corn. **Plant Disease**, St. Paul. v.71, p.281, 1987.

LOURENTE, E.R.P.; ONTOCELLI, R.; SOUZA, L.C.F. de; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E.; RODRIGUES, E.T. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.1, p.55-61, 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 130 p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ed. San Diego:: Academic Press, 1995. 889p.
- MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C.A.C.; CORRÊA, J.C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.867-873, 2003.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001, 849p.
- MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. **Phytopathology**, Saint Paul, US, 81:84-88. 1991.
- MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E.L.; CALEGARI, A. **Adubação do milho**. Campinas: Fundação Cargill/IAPAR, 1989. 29p. (Fundação Cargill. Série Técnica, 4).
- OLIVEIRA, J.M.S. de; CAIRES, E.F. Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.2, p.351-357, 2003.
- PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- PARENTONI, S.N.; FERNANDES, F.T.; GAMA, E.E.G.; LOPES, M.A.; EVARISSO, P.E.O.; SANTOS, M.X.; SILVA, A.E. Efeito de níveis de nitrogênio sobre a severidade da doença foliar causada por *Phaeosphaeria maydis* em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21, Londrina, 1996. **Resumos**. Londrina: IAPAR, 1996. P.164.
- PEREIRA, O.A.P.; CARVALHO, R.V.; CAMARGO, L.E.A. Doenças do milho. In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. 2^ov. Doenças das plantas cultivadas.
- POZZA, A.A.A.; ALVES, E.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J. G. de; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; SANTOS, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira** v.29, p.185-188. 2004.
- POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A. Manejo de doença de plantas com macro e micronutrientes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, n.1, p.52-54, jan./abr. 2003.

PRABHU, A.S.; SANTOS, A.B.; DIDONET, A.D. Soluble tissue sugar content and leaf blast severity in response to the application of calcinated serpentinite as a silicon source in irrigated rice. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, n.4, p.402-404, 2007,

PRADO, R.M.; KORNDÖRFER, G.H. Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays* L) cultivado em Latossolo Vermelho amarelo distrófico. **Científica**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.9-17, 2003.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1977. 285p. (**Boletim Técnico**, 100).

RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.751-757, 2008

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.R. **Manual de Diagnose e Controle de Doenças do Milho**. 2. ed. Lages: Graphel, 2004. 144p.

REIS, N.A.; ARF, O.; SILVA, M.G.; SÁ, M.E.; BUZOTTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.1, p.37-43, 2008.

RODRIGUES, F.Á.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; BÉLANGER, R.R. Ultra structural and cytochemical aspects of silicon mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, US, v.93, p.535-546, 2003.

RODRIGUES, F.Á.; McNALLY, D.J.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R.R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, US, v. 94, p. 177-183, 2004.

RODRIGUES, F.A.; VALE, F.X.R.; KORNDÖRFER, G.H.; PRABHU, A.; DATNOFF, L.E.; OLIVEIRA, A.M.A.; ZAMBOLIM, L. Influence of silicon on sheath blight of rice in Brazil. **Crop Protection**, v.22, p.23-29. 2002.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. The effect of silicon supplementation on cucumber fruit: changes in surface characteristics. **Annals of Botany**, London, v.72, n.5, p.433-440, Nov. 1993.

SANDINI, I.E.; FANCELLI, A.L. **Milho: estratégias de manejo para a região sul**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária. 2000. 209 p.

SANTOS, G.R.; KORNDÖRFER, G.H.; REIS FILHO, J.C.D.; PELÚZIO, J.M. Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e sobre a produtividade do arroz irrigado por inundação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.50, n.287, p.1-8, 2003.

SANTOS BOTELHO, D.M.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.; BOTELHO, C.E.; SOUZA, P.E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.582-588. 2005.

SILVA, H.P.; MENTEN, J.O.M. Manejo integrado de doenças na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Coord.). **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, 1997. p.40-56.

SILVA, E.C. da; FERREIRA, S.M.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. de; GUIMARÃES, G.L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, n.5, p.725-733, 2005.

SILVA, E.C. da; MURAOKA, T.; MONTEIRO, R.O.C.; BUZETTI, S. Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.275-281, 2007.

SILVA, M.A.G. da; PORTO, S.M.A.; MANNIGEL, A.R.; MUNIZ, A.S.; MATA, J.de D.V. da; NUMOTO, A.J. Manejo da adubação nitrogenada e influência no crescimento da aveia preta e produtividade do milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.2, p.275-281, 2009.

SOUZA, P.P. **Evolução da cercosporiose e da mancha branca do milho e quantificação de perdas, em diferentes genótipos com controle químico**. 2005. 76p. Dissertação de Mestrado. Uberlândia MG. Universidade Federal de Uberlândia. 2005.

TOMAZELA, L.T. **Adubação nitrogenada e de nutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho**. 2005. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VELOSO, M.E.C. **Potencialidades de impacto ambiental por nitrato, doses de N e flutuação do lençol freático para cultura do milho sob sistema de drenagem**. Piracicaba, 2006 Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2006.

VIÉGAS, A.P. Alguns fungos do Brasil. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Agronomia, 1945. (**Boletim 8**).

VITTI, G.C.; OLIVEIRA, F.A.; PRATA, F.; OLIVEIRA, Jr., J.A.; FERRAGINE, M.C.; SILVEIRA, R.L.V.A. **Silício no solo e na planta**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 90p. 1997.

WARD, J.M.J.; HOHLS, T.; LAING, M.D.; RIJ KENBERG, F.H.J. Fungicide response of maize hybrids to gray leaf spot. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v.102, p.765-771, 1996.

WARD, J.M.J.; STROMBERG, E.L.; NOWELL, D.C.; NUTTER-JR, R.W. Gray leaf spot – a disease of global importance in maize production, **Plant Disease**, v.83, n.10, p.884-895, 1999.

YAMADA, T. A nutrição mineral e a resistência das plantas às doenças. **Informações Agronômicas**, POTAFOS, Piracicaba: POTAFÓS, n.72, p.1-3, 1995.

YAMADA, T. Adubação nitrogenada no milho. Quanto, como e quando aplicar? **Informações Agronômicas**, POTAFOS, Piracicaba: POTAFÓS, n.74, p.1-5, 1996.

YAMADA, T. Resistência de plantas às pragas e doenças: pode ser afetada pelo manejo da cultura? **Informações Agronômicas**, POTAFOS, Piracicaba: POTAFÓS, n.108, 2004. p.2.

EFEITO DO NITROGÊNIO E SILÍCIO NO PROGRESSO TEMPORAL DA MANCHA DE CERCOSPORA NO MILHO

RESUMO

A cultura do milho vem se caracterizando pelo aumento na utilização de fungicidas usado no controle de diversas doenças, para que seja mantido o potencial de produtividade de grãos. Procedimentos relativos à redução da severidade de doenças, como a causada por *Cercospora zea-maydis*, tornam-se prementes. O equilíbrio nutricional pode ser um fator importante quando associado ao manejo de doenças. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio e silício na severidade mancha de cercospora. O trabalho foi desenvolvido no campo, num delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial. Os tratamentos constaram de quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), quatro doses de silício (0; 1,25; 2,50 e 3,75 kg ha⁻¹) e dois genótipos de milho, com diferentes tolerâncias à mancha de cercospora (AG-9010 – baixa tolerância; DKB-330 – tolerante). Foi observado que no genótipo AG-9010, menos tolerante à cercospora, houve uma interação entre N e Si, onde as doses de nitrogênio, quando em baixas quantidades (até 100 kg ha⁻¹) reduziram a severidade da doença. Entretanto, com a aplicação do Si na dose de 3,75 kg ha⁻¹, o mesmo genótipo (AG-9010), foi mais resistente à doença, mesmo nas doses mais altas de N (180 kg ha⁻¹). De forma semelhante, no genótipo DKB-330, mais tolerante ao fungo, a adubação nitrogenada e silicatada diminuíram linearmente o aparecimento da doença.

Palavras-Chave: adubação nitrogenada e silicatada, *Zea mays* L., doenças fúngicas

1 INTRODUÇÃO

O milho por seu alto valor nutritivo apresenta um papel de destaque no cenário econômico e social, principalmente na geração de divisas, advindas em grande parte das exportações dos grãos, utilizados na alimentação humana e animal (FNP, 2009).

O rendimento da cultura pode ser influenciado por fatores como a disponibilidade hídrica, manejo do solo e plantas daninhas, sistema de cultivo, potencial produtivo do híbrido, resistência a pragas e doenças (SANDINI & FANCELLI, 2000; FANCELLI & DOURADO-NETO, 2003).

Algumas doenças, pelo aumento da intensidade causam redução na produtividade do milho. As principais são as manchas brancas, ferrugens, cercosporioses e antracnoses. Vários fatores podem estar associados à incidência dessas doenças, tendo destaque o aumento da área cultivada, o uso de cultivares comerciais, com diferentes níveis de resistência às doenças, o plantio direto de milho sobre restos de cultura contaminadas com fitopatógenos (TOMAZELA, 2005). Quando afetados colmos, folhas e espigas há uma queda de 40% da produtividade da cultura (CASA E REIS, 2003).

Os danos causados pela cercosporiose podem ser significativos. Nos EUA e África do Sul, as perdas na produção das culturas, devido ao ataque da doença, variam entre 25 e 65% (DONAHUE et al., 1991; WARD & NOWELL, 1998; WARD et al., 1999).

A cercosporiose no milho causa lesões necrosadas nas folhas e, devido a esse fato, há uma redução nas áreas fotossintéticas e os fotoassimilados ou fotossintatos são divergidos para o caule e para as raízes, em maiores níveis que o normal, promovendo a senescência prematura das folhas (DODD, 1980) e redução na produção de grãos (ALLISON & WATSON, 1996).

Nem sempre um genótipo com elevado potencial produtivo está associado a uma capacidade de tolerância a pragas e moléstias, o que muitas vezes inviabiliza a sua utilização em áreas onde existe vulnerabilidade a elas. Procurando resolver esse problema e possibilitar o agricultor optar por

genótipos produtivos e ao mesmo tempo mais resistentes às doenças locais foram desenvolvidas variedades genéticas com diferentes graus de tolerância aos agentes patogênicos. Ao mesmo tempo, sabe-se que alguns nutrientes, em doses equilibradas, possuem uma ação controladora no aparecimento de pragas e moléstias, como é o caso do Si e o do K; ao contrário, porém, o nitrogênio, quando em quantidades elevadas, pode facilitar a entrada de patógenos, uma vez que reduzem a produção de compostos inibidores na entrada e propagação de microorganismos, como fenóis e ligninas.

O silício não está incluído entre os nutrientes essenciais para as plantas; no entanto, efeitos benéficos têm sido demonstrados em várias espécies vegetais, especialmente quando essas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja de caráter biótico ou abiótico (DATNOFF et al., 2001; FARIA 2000, KORNDÖRFER et al., 2002).

No momento, não há nenhum estudo sobre a redução da severidade da mancha de cercospora no milho, relacionada à adubação nitrogenada e silicatada. O equilíbrio entre os nutrientes ajuda no controle da doença e, conseqüentemente melhora a produtividade do milho. Além disso, a adubação com Ni e Si traz de imediato, efeitos benéficos ao sistema solo-planta, principalmente porque reduz o impacto ambiental, relacionado a uma utilização mais racional dos produtos químicos no controle da doença.

Pelos motivos expostos, os objetivos desse estudo com milho incluem: a) verificar a influência da adubação nitrogenada em cobertura no solo e silicatada foliar, na diminuição da severidade da mancha de cercospora, em genótipos de milho com diferentes resistências à doença; b) verificar se ocorre diferença entre genótipos, em relação à severidade da doença; c) relacionar a produtividade dos genótipos ao aparecimento da mancha de cercospora nas folhas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterizações da área experimental

A pesquisa foi conduzida no campus da Faculdade Integrado de Campo Mourão, localizado no município de Campo Mourão (52°22'40" W, 24°02'38" 24° S), na altitude de 630 m. A pluviometria situa-se entre 1.400 mm e 1.500 mm por ano. O clima segundo Köppen é classificado como subtropical úmido mesotérmico.

O período da pesquisa compreendeu de setembro de 2006 a fevereiro de 2007, foram registrados os dados meteorológicos da região no período fornecidos pelo posto agrometeorológico da Estação Experimental da Coamo, instalado a 9 km do local de experimento (Figura 1).

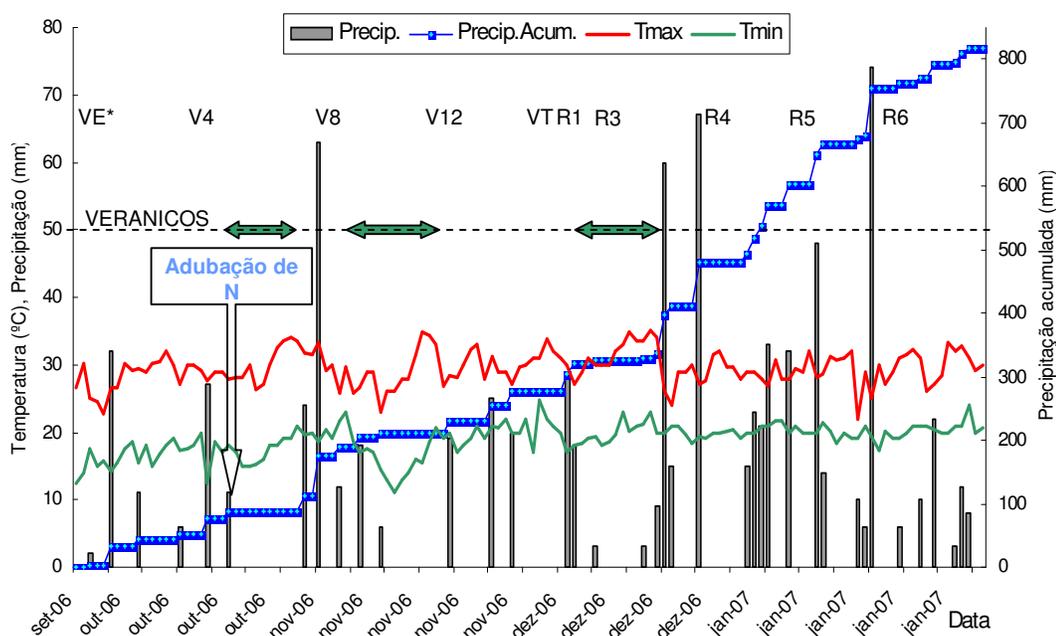


Figura 1. Valores de precipitação, temperaturas máximas e mínimas na área experimental correspondentes ao período de 27/set/06 a 05/fev/07, no município de Campo Mourão, PR. Fonte: COAMO

*Estádio fenológico da cultura do milho (Embrapa, 2006): V4 - 4 folhas plenamente expandidas; V8 - 8 folhas plenamente expandidas; V12 - 12 folhas plenamente expandidas; VT - último ramo do pendão completamente visível sem emergência dos estilos estigmas; R1 - estilo estigma visíveis, fora da espiga; R4 - grãos pastosos; R6 - maturidade fisiológica.

De acordo com os dados pluviométricos coletados no período do experimento, observou-se precipitação de 796 mm e 816 mm, com média de 6,3 mm por dia, demonstrando boa distribuição das chuvas, capaz de atender de modo geral, à necessidade hídrica da cultura do milho (Figura 1). A necessidade do milho de acordo com Doorenbos & Kassam (1994), para se obter produção máxima está ao redor de 500 a 800 mm de água no ciclo, dependendo do clima.

Nos estádios vegetativos (V5-V7; V8-V12) e reprodutivos (R2-R3) a distribuição de chuvas foi irregular concentrando-se em determinados períodos e com curtos veranicos (Figura 1),

2.2 Amostragem e análises do solo

O solo em estudo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférrico (EMBRAPA, 2006). Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-20 e 20-40 cm para a determinação de características químicas do solo (Quadro 1). A análise de pH, Al, H+Al, Ca, Mg, P e K foi realizada segundo metodologia descrita em Pavan et al. (1992) e a matéria orgânica segundo a metodologia descrita por Miyazawa et al. (2000). A extração do Si foi realizada segundo metodologia descrita por Weaver et al. (1968).

Quadro 1. Atributos químicos do solo antes da implantação do experimento nas camadas de 0-20 e 20-40 cm

Profundidade	pH	MO ¹	P ²	Si ³	K ²	Ca ⁴	Mg ⁴	Al ⁴	H+Al ⁵	SB	T	V
cm	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							%
0-20	5	75,02	10,62	7,7	0,13	3,76	1,73	0,05	6,64	5,62	12,26	45,8
20-40	4,85	70,01	3,8	6,4	0,08	2,55	1,32	0,1	6,94	4,07	11,01	36,3

¹ MO – Método gravimétrico; ²P e K – Mehlich 1; ³ Si – CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; ⁴Al, Ca e Mg – KCl 1N; e ⁵ H+Al – SMP.

2.3 Caracterizações dos híbridos utilizados

Foram utilizados dois híbridos simples comerciais de milho (AG-9010 e DKB-330) com indicações de resistência à *Cercospora zea-maydis*, diferenciadas conforme informação fornecida pelas empresas produtoras (Quadro 2). Os híbridos foram escolhidos, porque possuem um ciclo mais curto e são bastante cultivados na região de Campo Mourão, PR, principalmente na época da safrinha.

Quadro 2. Características agronômicas e reação à mancha de cercospora dos dois híbridos utilizados nos dois experimentos, Campo Mourão, PR

Experimento	Híbrido	Tipo ¹	GD ²	Classificação comercial	<i>Cercospora zea-maydis</i>	Indicação ³	Semeadura ⁴	Densidade ⁵
1	AG 9010	HS	770	Superprecoce	Baixa tolerância	S/TS/N	C/N/T/S	60-70/55
2	DKB 330	HS	810	Superprecoce	Tolerante	S/TS/TN/N	C/N/T/S	55/70

¹Tipo – HS: híbrido simples; ²GD: número de graus-dia para o florescimento (°C dia); ³Indicação: S (Sul: RS, SC e PR – Sul e Oeste). TS (Transição Sul: MS- Sul, SP-Sul e PR-Norte); TN (Transição Norte: MG- Sul e SP- Nordeste); N (Norte: SP- Noroeste, MG, GO, RJ, MS,- Norte, MT, DF, BA- Oeste, N e NE); ⁴Semeadura: C (Cedo), N (Normal), T(Tarde) e S (Safrinha); ⁵Densidade: em mil plantas por hectare.

2.4 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se das combinações dos fatores doses de nitrogênio e de silício, arranjados no esquema fatorial 4x4, totalizando 16 tratamentos para cada genótipo (Quadro 3). Cada genótipo utilizado esteve sob influência de quatro doses crescentes de adubação nitrogenada (0; 60; 120 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio) em cobertura, utilizando o fertilizante sulfato de amônio como fonte e quatro doses crescentes de adubação silicatada foliar (0; 1,25; 2,50 e 3,75 kg ha⁻¹ de ácido monossilícico) utilizando o fertilizante comercial Maxil como fonte de silício (17,4% de Si).

Cada unidade experimental foi constituída por seis linhas de 5,0m de comprimento, com espaçamento de 0,8m entre linhas, resultando numa área de 24m². As duas linhas externas foram consideradas bordaduras e descartou-

se 0,5m nas extremidades das quatro linhas centrais (área útil de 12,8m²).

Quadro 3. Tratamentos de doses de nitrogênio em cobertura e silício via foliar na cultura do milho, Campo Mourão - PR

Tratamentos	Nutrientes e doses		Tratamentos	Nutrientes e doses	
	Nitrogênio	Silício		Nitrogênio	Silício
	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹	
1	0	0,00	9	120	0,00
2	0	1,25	10	120	1,25
3	0	2,50	11	120	2,50
4	0	3,75	12	120	3,75
5	60	0,00	13	180	0,00
6	60	1,25	14	180	1,25
7	60	2,50	15	180	2,50
8	60	3,75	16	180	3,75

2.5 Semeadura do milho e tratos culturais

Os experimentos foram instalados em área com plantio direto, tendo seu início no dia 7 de setembro de 2006, quando foi realizada a dessecação sobre a cultura da aveia (*Avena strigosa*) com 5 L ha⁻¹ de glyphosate (Roundup Original), aplicado mediante pulverizador de barras regulado para vazão de 200 L ha⁻¹.

O tratamento de sementes foi efetuado para os dois genótipos, com thiamethoxam (Cruiser 700 WS), na dosagem de 210g 100 kg i.a. (300 mL do produto comercial por 100 kg de semente) e; fludioxonil (2,5% i.a.) e metalaxyl-M (1,0% i.a.) (Maxim XL) 150 mL do produto comercial por 100 kg de semente, como forma de prevenção contra o ataque das principais pragas e doenças iniciais da cultura.

A aplicação de adubo na semeadura foi realizada nos sulcos espaçados de 0,80m entre, si, abertos com sulcador tracionado por trator, contendo 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O, 13 kg ha⁻¹ de Ca e 30 kg ha⁻¹ de S. A determinação da dose de tais elementos foi fundamentada nos resultados da análise do solo (Quadro 1), na eficiência das fontes utilizadas e nos valores de exportação desses nutrientes pela cultura do milho (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

A semeadura foi realizada manualmente nos sulcos de adubação, no dia 27 de setembro de 2006, dispondo-se duas sementes a cada 0,23m, as quais foram distribuídas com o uso de semeadora manual.

A emergência do milho ocorreu no dia 03 de outubro de 2006. Por ocasião da terceira folha completamente desdobrada, realizou-se o desbaste, deixando-se aproximadamente 4,5 plantas por metro linear utilizando-se a população final entre 56.250 e 57.812,5 plantas ha⁻¹ para os dois genótipos estudados.

Para o controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), aplicou-se aos 12 e 26 dias após a emergência os inseticidas methamidophos (Tamaron) (0,6 L ha⁻¹) e monocrotophos (Agrophos 400) (0,6 L ha⁻¹) respectivamente, visando evitar a ocorrência de danos provocados pela referida praga. Foi realizada uma capina manual no dia 20 de novembro de 2006.

2.6 Aplicações dos tratamentos: adubação nitrogenada e silício via foliar

A aplicação do nitrogênio em cobertura (tratamentos) foi realizada no dia 19 de outubro de 2006, sendo as doses distribuídas a lanço na linha do milho no estágio de quatro folhas definitivas ou quatro folhas totalmente expandidas V4 (RAIJ et al.,1997), utilizando o fertilizante sulfato de amônio. O solo encontrava-se úmido, com ocorrência de chuva de 11 mm (Figura 1) no dia anterior.

A aplicação foliar do ácido monossilícico foi realizada no estágio fenológico V6, com pulverizador costal e pressão constante de CO₂ de 25 kgf. cm⁻³, com barra de 2,0 metros de largura e 4 bicos (espaçados em 0,50m) de jato série 110.02 e, proporcionando volume de aplicação de 200 L ha⁻¹.

2.7 Análises químicas dos teores de N, Si, Ca, Mg, P e K no tecido vegetal

Para avaliar o estado nutricional das plantas, foram coletadas 10 folhas de plantas de milho para análise foliar aos 64 dias após a emergência (DAE).

Cada amostra foi composta pelas primeiras folhas abaixo e opostas à espiga escolhidas aleatoriamente dentro da área útil da parcela de cada tratamento. No laboratório, as folhas foram lavadas conforme Sarruge & Haag (1974), sendo submetida à rápida imersão em solução diluída de detergente neutro, lavagem por imersão em água destilada e, finalmente, imersão em água deionizada. Após lavagem, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e perfurados, para posterior secagem em estufa de renovação forçada de ar a 65 °C por 72 horas. Após secas foram moídas em moinho tipo Wiley, em peneira de 20 mesh e armazenadas em sacos plásticos (zip), identificados, vedados e encaminhados para a determinação de N, P, K, Ca, Mg e Si.

As determinações dos teores de N, Ca, Mg, P e K foram realizadas pela metodologia descrita por EMBRAPA (1999) no laboratório de análises de solo na Universidade Estadual de Maringá; e o Si foi obtido por digestão com água oxigenada com adição de hidróxido de sódio pela metodologia descrita por Elliot & Snyder (1991), no laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal de Uberlândia.

2.8 Colheita

A colheita do genótipo AG-9010 foi realizada aos 127 dias após a semeadura (DAS), no dia 1 de fevereiro de 2007 e o genótipo DKB-330 foi colhida aos 131 DAS, no dia 5 de fevereiro de 2007.

As espigas foram coletadas e debulhadas. Os grãos foram secos em estufa com circulação de ar a 105°C até peso constante para determinação da umidade, conforme a metodologia descrita nas Regras para Análise de sementes (BRASIL, 1992). A massa seca dos grãos de milho (kg por hectare) foi ajustada para 13% de umidade.

2.9 Avaliações da mancha de cercospora e análise da curva de progresso da doença

O aparecimento de mancha de cercospora ocorreu de forma natural, sendo constatada na cultura do milho na safrinha anterior, em área adjacente, como possível fonte de inoculo.

As avaliações de severidade da mancha de cercospora foram realizadas por métodos diretos dos sintomas e sinais (MORAES, 2007) atribuindo notas de 0 a 100% de severidade para cada folha. Em cada avaliação foi realizada análise visual de dez plantas amostradas aleatoriamente nas quatro linhas centrais por parcela. Em cada planta foram avaliadas três folhas, sendo uma folha oposta e abaixo à espiga, uma folha superior e outra inferior a esta, num total de 30 folhas por parcela. As avaliações compreenderam os estádios fenológicos de R1 a R5.

Conduziram-se seis avaliações da severidade de cercosporiose em intervalos diferentes, variando de 5 a 8 dias (aos 11, 16, 23 e 29 de dezembro de 2006 e aos 6 e 13 de janeiro de 2007).

A intensidade da doença entre as avaliações foi comparada através da estimativa da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (CAMPBELL & MADDEN, 1990; REYNOLDS & NEHER, 1997).

O cálculo da AACPD foi determinado pela equação proposta por Shanner & Finney (1977) e CAMPBELL & MADDEN (1990:

$$AACPD = \sum_{i=1}^n [(Y_{i+1} + Y_i)/2] * [(T_{i+1} - T_i)]$$

Onde n é o número de observações; Y_i é a severidade da doença na “i”-ésima observação; T_i – é o tempo em dias na “i”-ésima observação.

2.10 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância em nível de 5% de significância para as variáveis: teores de nitrogênio foliar (NFOL), silício foliar (SiFOL), cálcio foliar (CaFOL), magnésio foliar (MgFOL), fósforo foliar (PFOL), potássio foliar (KFOL) e AACPD para os dois experimentos.

Para as variáveis onde o efeito isolado de doses de nitrogênio ou de doses de silício foi significativo, foram ajustados modelos de regressão para quantificar o efeito de cada variável independente sobre as variáveis respostas (dependentes), para cada experimento utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

Quando o efeito da interação entre doses de nitrogênio e de silício foi significativo, foram ajustados modelos de regressão múltipla, ou superfície de resposta pelo programa estatístico GENES (CRUZ, 2006). Para a seleção das equações, foram usados os critérios de significância do teste F, em nível de 5% para o modelo e do teste t e para os seus coeficientes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Adubação e severidade da mancha de cercospora no genótipo AG-9010

A análise da variância para o genótipo AG-9010, evidenciou que houve um efeito significativo da adubação nitrogenada na absorção de N, P e Mg. Houve efeito da interação entre as doses de N e Si, na absorção de K e Ca, assim como ocorreu um efeito da interação N e Si em relação à severidade da mancha de cercospora no milho (Quadro 4).

A adubação com Si não afetou o teor de nutrientes nas folhas, no florescimento, embora Lima Filho (2008) descreve que plantas com nível mais elevado de Si tendem a conter mais nitrogênio, pois o Si aumenta a produção de fotoassimilados, devido a um incremento na taxa fotossintética e ao aumento de substratos para a incorporação do N nos esqueletos carbônicos.

Quadro 4. Análise de variância referentes à concentração foliar de nitrogênio (NFOL), silício (SiFOL), cálcio (CaFOL), magnésio (MgFOL), fósforo (PFOL) e potássio (KFOL) no milho; à área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e à produtividade de grãos de milho do genótipo AG-9010

Fontes de variação	NFOL	SiFOL	CaFOL	MgFOL	PFOL	KFOL	AACPD	Produtividade
	g kg ⁻¹							kg ha ⁻¹
Doses N	0,0001 **	0,2776 ^{ns}	0,0001 **	0,0001 **	0,0376 *	0,0022 **	0,0001 **	0,0093 **
Doses Si	0,7798 ^{ns}	0,2308 ^{ns}	0,0029 **	0,6697 ^{ns}	0,4390 ^{ns}	0,0110 *	0,0122 *	0,3346 ^{ns}
NxSi	0,2889 ^{ns}	0,1801 ^{ns}	0,0008 **	0,2605 ^{ns}	0,9905 ^{ns}	0,0499 *	0,0002 **	0,6233 ^{ns}
Média (g kg ⁻¹)	32,11	1,66	4,26	3,61	2,86	14,67	151,77	9174,6
C.V. (%)	5,21	13,74	10,46	8,94	15,15	8,98	17,21	8,5

Valor de F significativo em nível de 5%(*) e 1%(**) de probabilidade e não significativo (^{ns}), pela análise de variância

3.1.1 Adubação nitrogenada e absorção de N, P e Mg

No genótipo AG-9010 houve efeito linear positivo significativo da adubação nitrogenada na absorção do N (Figura 2). Os resultados foram

semelhantes ao descrito por Veloso (2006), o qual aplicou doses crescentes de N (0, 20, 70, 120 e 170 kg ha⁻¹) em cobertura no milho, em GLEISSOLO Eutrófico e tiveram aumento no teor de N foliar. Na dose 0 kg ha⁻¹ de N o teor foliar de N foi de 30,7 g kg⁻¹. De forma semelhante à adubação nitrogenada aumentou os teores de P (Figura 2) no milho, pois o N estimula o crescimento da planta ajudando na absorção de outros nutrientes, como o P. Resultados semelhantes foram reportados por Lange (2002) quando avaliou a aplicação de N em cobertura (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) nos teores de P foliar no florescimento, os quais aumentaram linearmente (2,11 a 2,77 g kg⁻¹).

As concentrações de N nas folhas de milho no florescimento considerado adequadas por Bull e Cantarella (1993) variam de 27,5 a 32,5 g kg⁻¹, enquanto que o P adequado varia entre (1,9 a 3,5 g kg⁻¹). Teores adequados de N em milho, cultivado em solução nutritiva, em diferentes épocas de coleta das plantas, são citados por Carvalho et al. (2007), encontraram-se entre 10 a 20 g kg⁻¹.

Por outro lado, segundo Schlegel et al. (1996), um suprimento adequado de P aumentou em 50% a assimilação do N em milho em solos de Kansas (USA).

Porém a adubação nitrogenada diminuiu os teores foliares de Mg (Figura 2), o que pode ter ocorrido em função de um efeito de diluição, uma vez que o nitrogênio melhora o crescimento da planta e a produção de matéria seca (ZOTARELLI et al. 2003; SILVA et al. 2006; SILVA et al. 2007). Os resultados concordam com Lange (2002) e Oliveira & Caíres (2003) os quais estudaram doses crescentes de N até 120 kg ha⁻¹, em cobertura e verificaram que o N não influenciou significativamente o teor de Mg no tecido foliar do milho.

Os teores foliares de Mg (3,18 a 4,03 g kg⁻¹) em todas as doses situaram-se acima do considerado adequado (1,5 a 4,0 g kg⁻¹ de Mg) por Büll e Cantarella (1993) para a cultura do milho.

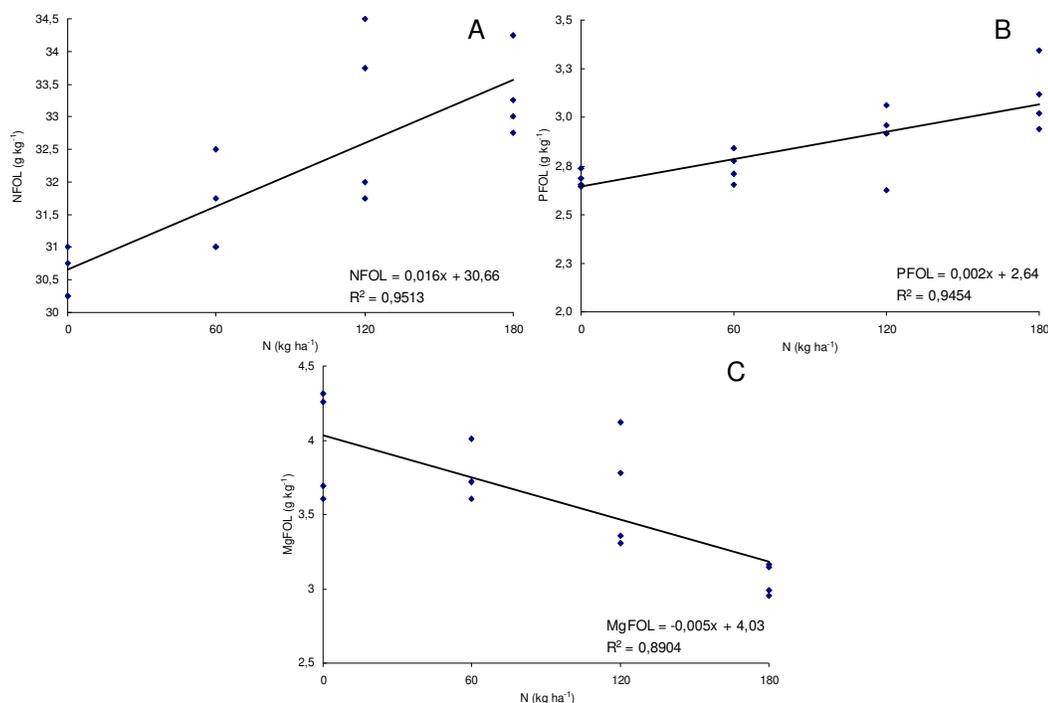


Figura 2. Teor foliar de nutrientes: **A.** nitrogênio (NFOL); **B.** fósforo (PFOL); **C.** magnésio (MgFOL, C) no milho híbrido AG-9010, em função das doses de N em cobertura, como sulfato de amônio, no estágio V6, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.1.2 Adubação nitrogenada e silicatada e absorção de K e Ca

Houve efeito de interação entre adubação nitrogenada e silicatada sobre a absorção do K pelo milho, com favorecimento na sua absorção com o aumento do nitrogênio até 180 kg ha⁻¹, nas doses de Si de 1,25 e 2,50 kg ha⁻¹ respectivamente de 16,5 e 15,5 g kg⁻¹ de K. (Figura 3A). Porém o aumento do Si até 3,75 kg ha⁻¹, na dose de N de 180 kg ha⁻¹ diminuiu o teor de K, provavelmente pelo crescimento da planta e efeito de diluição (Figura 3B). O maior teor foliar de K ocorreu na dose de 180 kg de N ha⁻¹ estando relacionado à dose de Si de 1,25 kg ha⁻¹ (16,5 g kg⁻¹ de K). A adubação nitrogenada aumentou a absorção do K, provavelmente em função de um estímulo ao crescimento da planta e raízes, enquanto que a aplicação do Si, em doses maiores que 1,25 kg ha⁻¹, diminuiu a concentração do nutriente nas folhas, na época do florescimento.

O K é o segundo nutriente mais exigido pelo milho, depois do N e é mais absorvido quanto maior o crescimento da planta, o qual foi propiciado pela adubação com os nutrientes. Entretanto, o potássio foliar esteve abaixo dos teores adequados (17,5 a 29,7 g kg⁻¹ de K) descritos por Bull e Cantarella (1993). Teores adequados de K em milho, cultivado em solução nutritiva são citados por Carvalho et al. (2007), encontrando-se entre de 10 a 40 g kg⁻¹, sendo esse o nutriente de maior concentração no milho.

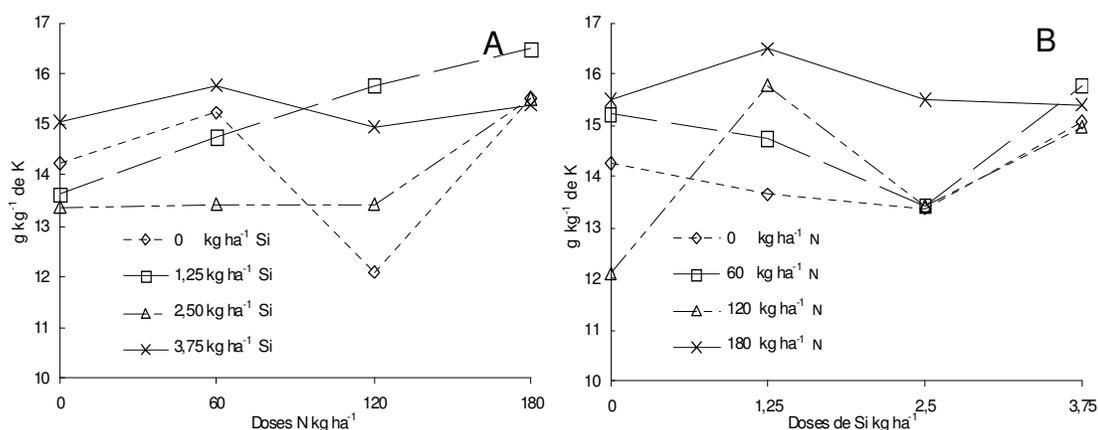


Figura 3. Teores foliares de potássio na época do florescimento do milho (híbrido AG-9010), nas doses de nitrogênio, aplicado no solo (A) e doses de silício foliar (B), em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

Por outro lado, os teores de Ca diminuíram com a adubação nitrogenada (Figura 4A), sendo o mais alto teor foliar encontrado na dose 1,25 kg ha⁻¹ de Si, sem aplicação de N (5,3 g kg⁻¹). Os teores mais baixos de Ca (3,0 g kg⁻¹) ocorreram quando foi aplicado N em 180 kg ha⁻¹ (Figura 4B). Possivelmente pode ter ocorrido um efeito antagônico entre N amoniacal e o Ca, assim como pode ter havido um efeito de diluição em relação ao Ca foliar, nas doses mais altas de N. Considerando que a fonte da adubação nitrogenada foi o sulfato de amônio, aplicado em condições de plantio direto, há a possibilidade da maior retenção da forma amoniacal do complexo coloidal orgânico. A passagem para a solução do solo ocorre de acordo com a necessidade da cultura, com menos perdas no solo e mais eficiência de absorção do N pelo milho.

Os teores de Ca foliar no milho estão dentro dos níveis adequados (2,3 a 4,0 g kg⁻¹) de acordo com Bull e Cantarella (1993). De acordo com Carvalho et al. (2007), o milho contém entre 3,0 a 15 g kg⁻¹ de Ca na matéria seca das

plantas, em diferentes épocas de coleta (21 a 133 DAE).

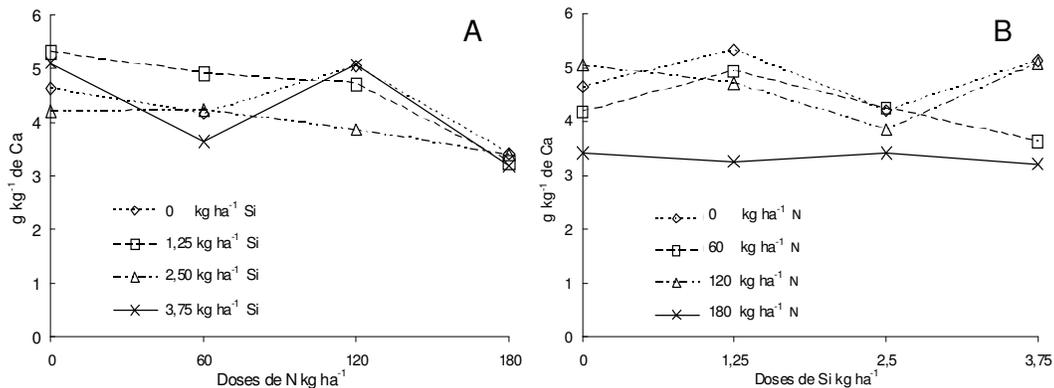


Figura 4. Teores foliares de cálcio na época do florescimento do milho híbrido (AG-9010), nas doses de nitrogênio aplicado no solo (A) e doses de silício foliar (B), em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.1.3 Efeito da adubação nitrogenada e silicatada no progresso da mancha de cercospora

A severidade da doença foi influenciada pelas doses de N e Si, ou pela interação entre os nutrientes. À medida que se aplicou N até 120 kg ha⁻¹, associado às doses mais altas de Si (2,50 e 3,75 kg ha⁻¹), houve uma diminuição na severidade da doença (Figura 5A), correspondente a 31,9 e 50,3% nas doses de 2,50 e 3,75 kg de Si ha⁻¹, respectivamente. Tal resultado é atribuído ao efeito positivo do Si no controle fitopatogênico, principalmente de origem fúngicas, devido à proteção tanto física (depósitos de sílica na camada epidérmica) como físico química dos silicatos (produção de fitoalexinas tóxicas). Como proteção físico-química o Si estimula a produção de substâncias inibidoras ou tóxicas aos microorganismos, como as fitoalexinas (KORNDÖRFER et al. 2004; EPSTEIN & BLOMM, 2006). Possivelmente, o efeito favorável no controle do fungo esteve associado a uma nutrição equilibrada em nitrogênio e silício. Caldwell e Ward (2002) verificaram, em híbrido de milho susceptível à Cercospora, que o aumento das doses de N diminui a severidade (AACPD) de mancha de cercospora, até a dose de 60 kg

N ha⁻¹, na safra 1996/97, porém, na safra de 1997/98 a doença foi crescente até a dose de 120 kg N ha⁻¹.

Porém, quando o milho recebeu baixa quantidade de Si foliar (1,25 kg ha⁻¹), houve necessidade de mais N para uma menor incidência da cercospora a qual esteve associada à maior dose de N (180 kg ha⁻¹) (Figura 5B). Somente neste caso, tal dose de N, foi eficiente no controle do aparecimento do fungo, porque de forma geral, a doença progrediu com a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N, a partir da dose de 1,25 a 3,75 kg ha⁻¹ de Si com aumento de 47,1% na severidade da doença.

Fidelis et al. (2003) encontraram maiores ataques de fungos em híbridos de milho resistentes à doença, quando a adubação nitrogenada, foi aplicado nas doses de 32 kg ha⁻¹ na semeadura e 90 kg ha⁻¹ em cobertura. A adubação nitrogenada está associada a um maior crescimento e a uma nutrição mineral equilibrada das plantas sadias. Porém uma condição de desequilíbrio nutricional, pelo excesso de N, ou qualquer outro nutriente torna a planta mais susceptível ao aparecimento das doenças. A alta concentração de nitrogênio reduz a produção de compostos fenólicos e de lignina das folhas, diminuindo a resistência aos patógenos. Além disso, o nitrogênio aumenta também a concentração de aminoácidos e de amidas no apoplasto e na superfície foliar, que aparentemente têm maior influência que os açúcares na germinação e no desenvolvimento das doenças fúngicas (MARSCHNER, 1995).

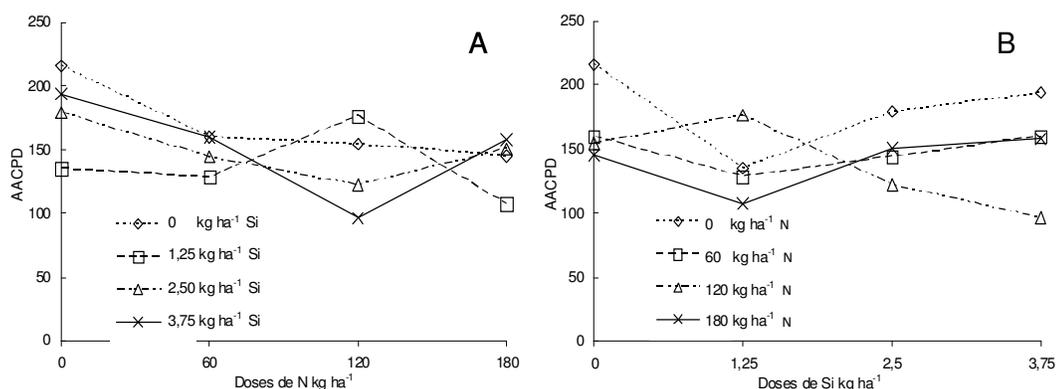


Figura 5. Área abaixo da curva de progresso da mancha de cercospora (AACPD) no híbrido AG-9010, nas doses de nitrogênio (A) em cobertura no V4, como sulfato de amônio e silício foliar (B), como ácido monossilícico, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.1.4 Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do milho

As doses da adubação nitrogenada aumentaram a produtividade do milho de forma quadrática, com uma produtividade máxima (9500 kg ha^{-1}) relacionada à dose de N de 120 kg ha^{-1} (Figura 6), o que pode ser atribuído, entre outros fatores, ao controle da cercospora na cultura, a qual apresentou um menor índice de ocorrência nesta mesma dose de N (Figura 6). Caíres et al. (2006) referem-se a uma produtividade de 9400 kg ha^{-1} de milho, sob plantio direto após aveia preta, relacionado a um teor de N foliar de $34,6 \text{ g kg}^{-1}$. A adubação nitrogenada promove o crescimento vegetativo do milho e melhora a sua produtividade, como o encontrado por Duete et al. (2008), quando aplicaram N em 175 kg ha^{-1} , em Latossolo de textura média, em duas épocas de cobertura, aos 30 e 60 dias após a emergência. A produção de palha foi de $7,2 \text{ t ha}^{-1}$ e de grãos foi de $8,15 \text{ t ha}^{-1}$.

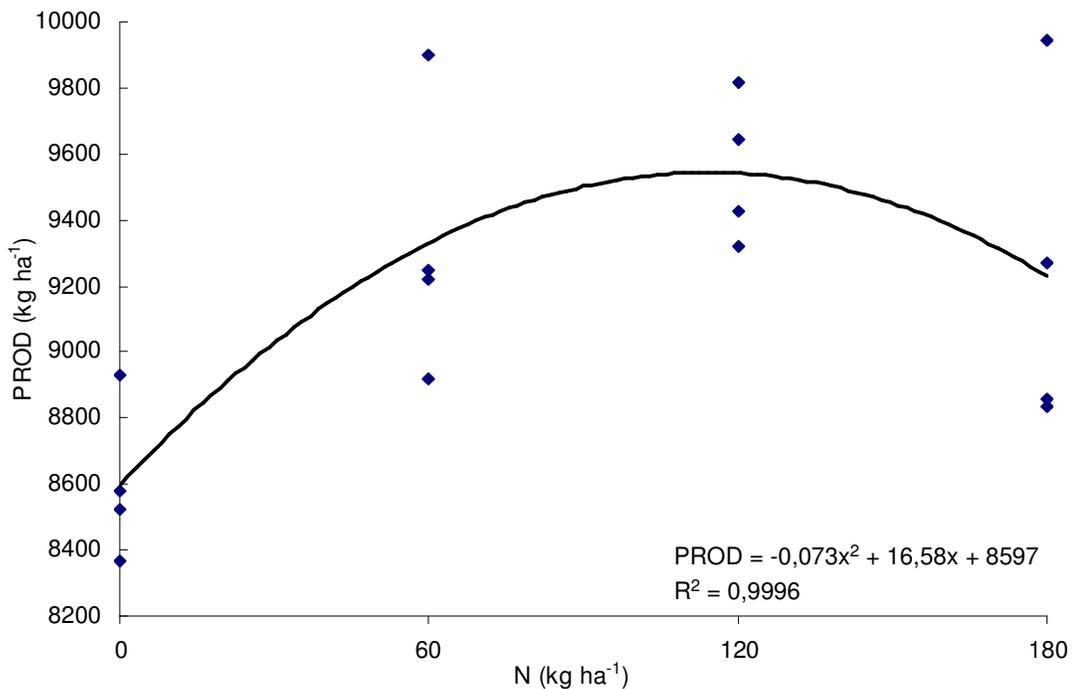


Figura 6. Produtividade do milho (PROD) no híbrido AG-9010, nas doses de nitrogênio em cobertura no V4, como sulfato de amônio, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.1.5 Correlações entre a absorção de nutrientes e a severidade de mancha de cercospora no milho

Foi observada uma correlação positiva entre o N absorvido pelo milho com o teor foliar de P e a produtividade (Quadro 5), cujos coeficientes foram de 0,7329** e 0,5155*. O efeito favorável da adubação nitrogenada em cobertura sobre o aumento de teor foliar de N e P no milho tem sido relatado, principalmente em função do incremento no crescimento da planta. Além disso, o N foliar correlacionou-se positivamente com a produtividade, o que pode ter sido em função da adubação nitrogenada amoniacal no solo, concordando com Oliveira e Caires (2003); Tissi et al. (2004) e Caires et al. (2006), os quais obtiveram índices de produção do milho acima de 7500 kg ha⁻¹, relacionados a uma nutrição foliar adequada em macronutrientes. O N tem participação na fotossíntese das plantas e é um componente importante de aminoácidos que fazem parte da estrutura das proteínas (MALAVOLTA et al. 1997). O teor de proteínas nos grãos de milho aumenta com a aplicação de N de maneira semelhante à produtividade (OBREZA e RHOADS, 1988).

Por outro lado, o teor de N foliar apresentou uma correlação inversa com o teor de Mg, sendo assim também com a severidade da mancha de cercospora (AACPD), cujos coeficientes foram de -0,5538* e -0,6941**, respectivamente (Quadro 5). A relação entre N e Mg foliar foi evidenciada por Campos (2005), o qual verificou que com o aumento das doses de N em cobertura, ocorreu uma acidificação do solo, e conseqüentemente uma absorção mais baixa das bases trocáveis, entre elas o Mg.

A redução da severidade de mancha de cercospora em função do aumento da dose de N pode estar associado a um melhor estado nutricional das plantas, em função do incremento do crescimento vegetativo associado à adubação nitrogenada, como avaliado por Villas Boas et al. (2005), cuja produção de fitomassa seca de folha, caule, raiz e total, em milho adubado com N, como uréia e sulfato de amônio aumentou .

O baixo coeficiente de correlação (0,14^{ns}) entre a mancha de cercospora e o teor foliar de Si no milho, pode ter ocorrido pelo efeito de diluição do Si foliar, uma vez que o Si proporciona um melhor controle nas

perdas e uso mais racional da água absorvida, tornando as células mais túrgidas, e as folhas mais eretas.

O Si atua na síntese de proteínas e compostos lignoproteicos, os quais possuem função estrutural na parede celular dos colmos e folhas, dificultando a proliferação de fitomoléstias (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997).

Quadro 5. Coeficientes de correlação de Pearson entre o teor foliar dos nutrientes, com a produtividade e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), do híbrido de milho AG-9010, em função da aplicação de doses de nitrogênio em cobertura, no sistema plantio direto. Campo Mourão - PR, safra 2006/07

	NFOL ¹	SIFOL ²	CaFOL ³	MgFOL ⁴	PFOL ⁵	KFOL ⁶	PROD ⁷	AACPD
NFOL	1							
SIFOL	0,1266 ^{ns}	1						
CaFOL	-0,4263 ^{ns}	-0,2753 ^{ns}	1					
MgFOL	-0,5538 [*]	-0,2294 ^{ns}	0,4061 ^{ns}	1				
PFOL	0,7329 ^{**}	0,0372 ^{ns}	-0,6092 [*]	-0,6110 [*]	1			
KFOL	0,2991 ^{ns}	0,3038 ^{ns}	-0,4835 ^{ns}	-0,7200 ^{**}	0,2508 ^{ns}	1		
PROD	0,5155 [*]	0,2116 ^{ns}	-0,1510 ^{ns}	-0,3014 ^{ns}	0,2744 ^{ns}	0,1447 ^{ns}	1	
AACPD	-0,6941 ^{**}	0,1351 ^{ns}	0,1311 ^{ns}	0,4025 ^{ns}	-0,3848 ^{ns}	-0,0932 ^{ns}	-0,4160 ^{ns}	1

Concentrações foliares de: ¹Nitrogênio (NFOL); ²Silício (SiFOL); ³Cálcio (CaFOL); ⁴Magnésio (MgFOL); ⁵Fósforo (PFOL); ⁶Potássio (KFOL); e ⁷Produtividade (PROD).

3.2 Adubação e severidade da mancha de cercospora no genótipo DKB-330

A análise da variância para o genótipo DKB-330, demonstrou que houve efeito significativo da adubação nitrogenada na absorção de N, P, Ca e Mg, assim como entre a adubação nitrogenada e a severidade da mancha de cercospora no milho (Quadro 6). De forma semelhante, foi verificado um efeito significativo isolado da adubação com Si foliar, na severidade da mancha de cercospora no milho. A interação de N e Si influenciou no teor de Si foliar.

Quadro 6. Análise de variância referente à concentração foliar de nitrogênio (NFOL), silício (SiFOL), cálcio (CaFOL), magnésio (MgFOL), fósforo (PFOL) e potássio (KFOL) no milho; à área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e à produtividade de grãos de milho do genótipo DKB-330

Fontes de variação	NFOL	SiFOL	CaFOL	MgFOL	PFOL	KFOL	AACPD ⁷	Produtividade
	g kg ⁻¹							kg ha ⁻¹
Doses N	0,0001 **	0,1301 ns	0,0002 **	0,0001 **	0,0007 **	0,0606 ns	0,0001 **	0,0031 **
Doses Si	0,9249 ns	0,6870 ns	0,1604 ns	0,0513 ns	0,1959 ns	0,1747 ns	0,0187 *	0,0802 ns
NxSi	0,9399 ns	0,0054 **	0,3543 ns	0,6924 ns	0,8384 ns	0,2633 ns	0,3085 ns	0,8451 ns
Média (g kg ⁻¹)	30,66	1,63	5,85	3,10	2,87	16,95	116,21	8942,5
C.V. (%)	6,18	11,82	22,14	12,25	7,84	8,98	16,78	5,7

Valor de F significativo em nível de 5%(*) e 1%(**) de probabilidade e não significativo (^{ns}), pela análise de variância

3.2.1 Adubação nitrogenada e absorção de N, P, Ca e Mg

O N foliar aumentou linearmente com a adubação nitrogenada no solo, em cobertura, com sulfato de amônio (Figura 7), concordando com Gomes et al. (2007) os quais encontraram teores de 29,9 a 31,4 g kg⁻¹ nas folhas de milho relativo às doses de N em cobertura de 0 a 150 kg ha⁻¹ em solo LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura média de Goiás. O milho é bastante exigente em N, que é o nutriente mais exigido e absorvido pela cultura, além de sua exportação para os grãos. De forma semelhante, o P é o mais exportado pelos grãos de milho e a sua absorção pode ser facilitada pela adubação nitrogenada, em função do crescimento do sistema radicular. Como o P é principalmente absorvido pelo processo de difusão, a favor de um gradiente de concentração e a curtas distâncias, um maior crescimento radicular torna mais fácil o contato entre nutriente e a raiz e facilita a sua absorção (MALAVOLTA et al., 1997).

Por outro lado, a adubação nitrogenada diminuiu a absorção de Ca e Mg de forma linear (Figura 7), possivelmente pelo efeito de diluição relativo a um crescimento de massa seca das plantas, como referido por Villas Boas et al. (2005), Dieckow et al. (2006) e Duete et al. (2008).

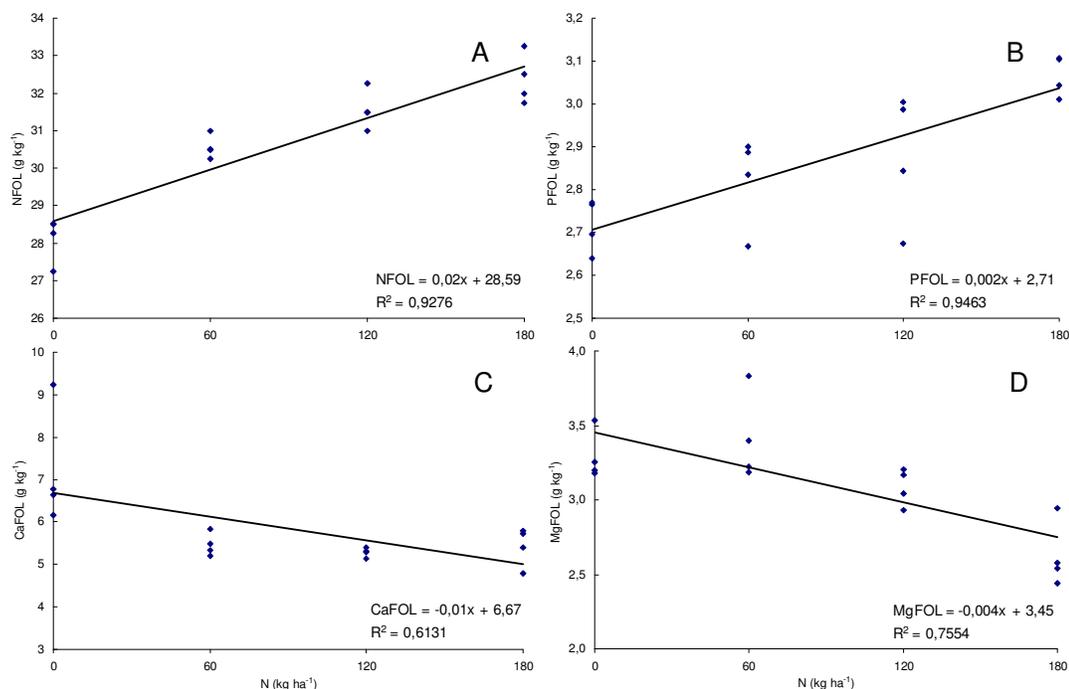


Figura 7. Teor foliar de nitrogênio (NFOL, A), fósforo (PFOL, B), cálcio (CaFOL – C), e magnésio (MgFOL, D) no milho híbrido DKB-330, em função das doses de N em cobertura, aplicado no solo como sulfato de amônio, no estágio V4, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.2.2 Adubação nitrogenada e silicatada na severidade da mancha de cercospora

A severidade da mancha de cercospora diminuiu linearmente com as doses crescentes de N (Figura 8), o que, neste caso, pode estar relacionado ao fato desta variedade de milho ser mais resistente à doença, a qual ocorreu de uma forma menos intensa, mesmo na dose de 180 kg ha⁻¹ de N. Resultados semelhantes foram citados por GOMES et al. (2007), que controlaram doenças fúngicas quando aplicaram N em doses até 150 kg ha⁻¹ em cobertura, no milho híbrido P30K75.

Da mesma forma, o equilíbrio nutricional entre o N e o K foi importante no controle da doença para o milho, sendo encontrada uma adequada relação entre N e K (média de 1,80); neste caso a relação de equilíbrio traz benefícios às culturas (MARSCHNER, 1995; REUTER & ROBSON, 1997). Em arroz, Cornélio et al. (2007) encontraram um eficiente controle da brusone,

quando toda a adubação nitrogenada amoniacal foi feita no plantio, mesmo nas doses de N mais elevadas (160 kg ha⁻¹).

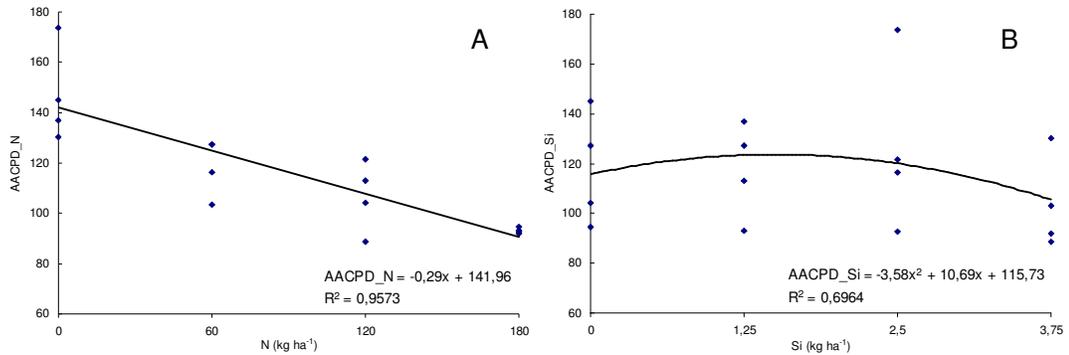


Figura 8. Área abaixo da curva de progresso da mancha de cercospora (AACPD), em função das doses de nitrogênio (A) em cobertura no estágio V4, como sulfato de amônio e silício (B) foliar, como ácido monossilícico, no híbrido DKB-330, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

A adubação silicatada reduziu a doença no milho, quando as doses de Si foliar foram maiores que 1,50 kg ha⁻¹ (Figura 8), isto pode estar relacionado a esta variedade de milho mais resistente ao aparecimento de fungos. O efeito benéfico do Si na planta é conhecido e está associado às suas funções na planta, as quais justificam a diminuição no aparecimento da doença, como demonstrado em mudas de café por Diniz et al. (2008), onde relatam que o uso de silicato de Ca e Mg no solo reduziram a cercosporiose do café. Similarmente, Santos Botelho et al. (2005) com a aplicação de silicato de sódio no solo, aumentou a concentração de lignina nas folhas e diminuiu a severidade da mancha de cercospora em mudas de café. Da mesma forma, o Si diminuiu a ocorrência de brusone no arroz, de acordo com Santos et al. (2003), quando aplicaram 4 000 kg ha⁻¹ via solo e foram incorporadas entre 10 a 15 cm de profundidade, com diferentes fontes silicatadas em solos de Goiás.

3.2.3 Efeito da adubação nitrogenada na produtividade do milho

As doses da adubação nitrogenada aumentaram a produtividade do milho de forma quadrática, com o máximo (9500 kg ha^{-1}) relacionado à dose de N de 120 kg ha^{-1} (Figura 9), o que pode ser atribuído, entre outros fatores, ao controle da cercospora no milho, a qual diminuiu linearmente em função da adubação nitrogenada (Figura 9). Depois disso a produtividade diminuiu, provavelmente devido a outros fatores, entre eles a textura do solo, o conteúdo de matéria orgânica e o sistema de manejo da adubação. Neste caso, a adubação nitrogenada pode não aumentar a produtividade do milho, quando aplicada toda no plantio ou de forma parcelada (Santos et al., 2007; Arf et al., 2007; Silva et al., 2009) ou resultar em melhores produções, quando ocorrer o parcelamento (Silva et al. 2006; Sangoi et al., 2007; Duete et al., 2008).

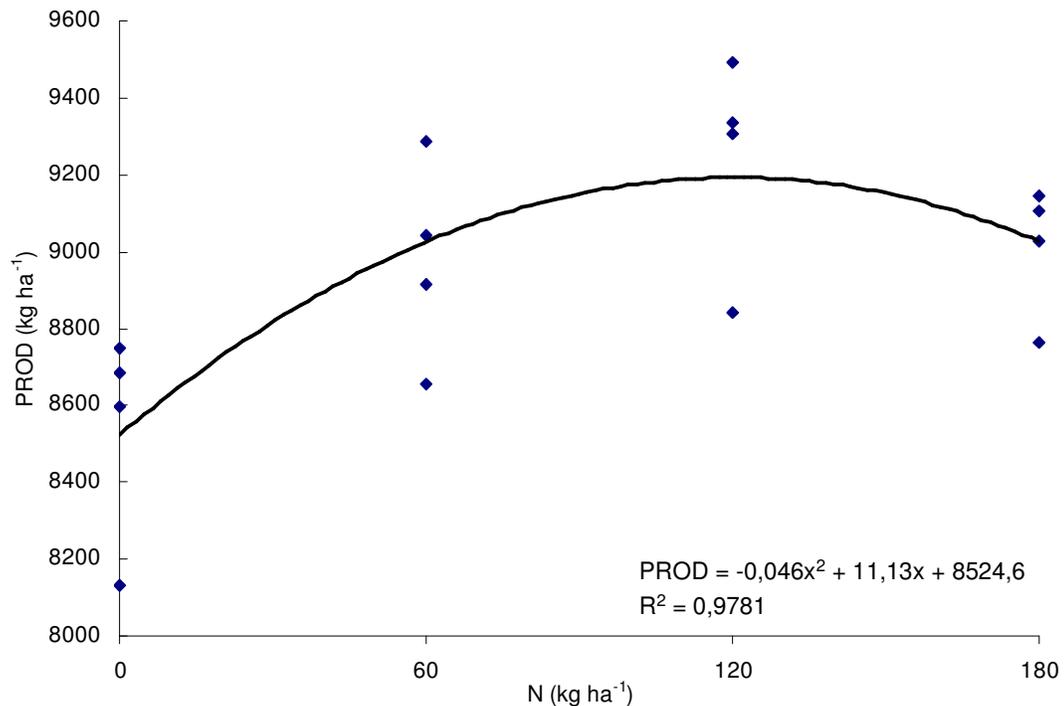


Figura 9. Produtividade do milho DKB-330 relacionada à adubação nitrogenada, como sulfato de amônio, aplicada em cobertura, no estágio V4, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.2.4 Interação da adubação nitrogenada e silicatada na absorção do silício

O aumento da adubação nitrogenada aumentou a concentração foliar de Si no milho, principalmente nas doses mais altas de silicato (Figura 10), como 2,50 e 3,75 kg ha⁻¹, o que pode ter devido a uma maior área foliar e superfície de absorção do silicato nas folhas. Por outro lado, na dose mais alta de N (180 kg ha⁻¹), a concentração de Si foliar diminuiu na menor dose (1,25 g ha⁻¹), neste caso, provavelmente em função do crescimento foliar e de um efeito de diluição, uma vez que o silicato foi aplicado nas folhas, sem possibilidade de qualquer influência do N no solo. Segundo Balestra et al. (1989) o Si é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas nas paredes celulares desses vasos. A forma de deposição é como sílica amorfa ou hidratada e uma vez o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui às plantas.

São tidos como teores adequados entre 17 a 34 g kg de Si nas folhas de arroz, de acordo com Korndörfer et al. (1999), porém não foram encontrados na literatura teores de Si nas folhas para o milho.

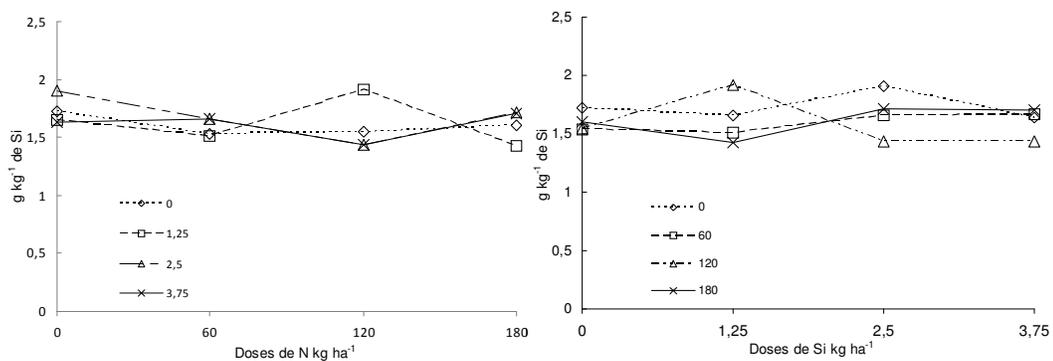


Figura 10. Efeito da interação de doses crescentes de nitrogênio (N) e silício (Si) sobre a concentração de silício (%) na parte aérea do milho (SiFOL) do híbrido DKB-330, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.2.5 Correlações entre a absorção de nutrientes pelo milho e mancha de cercospora

Foi observada uma correlação positiva entre o teor foliar de N e P, cujo coeficiente foi de 0,7250 (Quadro 7), o que demonstra que o N estimulou a absorção de P pelo milho, provavelmente em função do maior crescimento da planta, concordando com resultados de correlação entre N e P foliar no milho descritos por Montezano et al. (2008), cujo coeficiente de correlação entre os dois nutrientes foi de 0,70*. Os incrementos da absorção de P podem ser atribuídos ao fato de elevadas concentrações de N, na zona de absorção, condicionar as raízes a aumentar a absorção e a translocação do P (THIEN e McFEE, 1970), observados também por Oliveira e Caíres (2003), utilizando fonte nitrogenada amoniacal. Entretanto, houve uma correlação negativa entre os teores foliares de N e Ca e Mg ($r=-0,7990$ e $-0,6507$), o que pode ser justificado pelo efeito de diluição nos teores dos nutrientes, considerando que o N ajuda no crescimento da parte aérea e das folhas. Os resultados diferem do apresentado por Montesano et al. (2008) os quais se referem a coeficientes de correlação de 0,66 entre N e Ca foliar e de $-0,40$, entre N e Mg nas folhas do milho.

A correlação entre o teor de N foliar com a severidade da mancha de cercospora foi inversamente proporcional ($r= -0,8232$), como apresentado no Quadro 7. Os resultados possivelmente ocorreram porque o N melhora o crescimento foliar e da parte aérea das plantas e, conseqüentemente estimula a absorção dos nutrientes e o equilíbrio nutricional, o que ajudar na sanidade vegetal (MARSHNER, 1995).

A produtividade do milho correlacionou-se diretamente à concentração foliar de N e P, com coeficientes de 0,6501** e 0,5542*, demonstrando a importância dos nutrientes na produção e formação dos grãos de milho, concordando com Caíres et al. (2006) os quais alcançaram uma produtividade de 9450 kg ha^{-1} de milho para teores adequados de N foliar ($34,6 \text{ g kg}^{-1}$). De forma semelhante, de acordo com Carneiro et al. (2008), o milho produziu entre 7500 a 8500 kg ha^{-1} quando o teor foliar de P estava adequado ($4,2 \text{ g kg}^{-1}$).

A mancha de cercospora apresentou correlação positiva com o teor foliar de Ca e Mg, ou seja, quando os teores de Ca e Mg foram mais baixos,

ocorreu menos incidência da doença no milho (Quadro 7). Como observado anteriormente, a absorção do Ca e do Mg foram influenciadas inversamente pelo teor de N foliar e pela adubação nitrogenada. Assim, incidência da doença foi menos intensa, quando o milho absorveu mais N e menos Ca e Mg, explicada pelo efeito de diluição dos íons nas folhas.

Quadro 7. Coeficientes de correlação de Pearson entre teor foliar e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), no híbrido de milho DKB-330, em função da aplicação de doses de nitrogênio em cobertura, no sistema plantio direto. Campo Mourão, PR, safra 2006/07

	NFOL ¹	SIFOL ²	CaFOL ³	MgFOL ⁴	PFOL ⁵	KFOL ⁶	PROD ⁷	AACPD
NFOL	1							
SIFOL	-0,3202 ^{ns}	1						
CaFOL	-0,7990 ^{**}	0,4116 ^{ns}	1					
MgFOL	-0,6507 ^{**}	0,0595 ^{ns}	0,4124 ^{ns}	1				
PFOL	0,7250 ^{**}	-0,1330 ^{ns}	-0,5040 [*]	-0,6174 [*]	1			
KFOL	-0,0169 ^{ns}	0,3085 ^{ns}	0,2490 ^{ns}	-0,4486 ^{**}	0,1181 ^{ns}	1		
PROD	0,6501 ^{**}	-0,2704 ^{ns}	-0,7714 ^{**}	-0,3425 ^{ns}	0,5542 [*]	-0,0743 ^{ns}	1	
AACPD	-0,8232 ^{**}	0,4206 ^{ns}	0,6266 ^{**}	0,6172 [*]	-0,5167 [*]	-0,2015 ^{ns}	-0,4920 ^{ns}	1

Concentrações foliares de: ¹ Nitrogênio (NFOL); ² Silício (SiFOL); ³ Cálcio (CaFOL); ⁴ Magnésio (MgFOL); ⁵ Fósforo (PFOL); ⁶ Potássio (KFOL); e ⁷ Produtividade (PROD).

4 CONCLUSÕES

- a) Os genótipos de milho responderam de forma diferente à aplicação de N no solo e Si foliar, em relação à severidade da mancha de cercospora;
- b) No genótipo AG-9010, menos resistente, houve redução da doença na dose de N de 120 kg ha^{-1} , associado à dose de Si de $3,75 \text{ kg ha}^{-1}$;
- c) No genótipo DKB-330, mais resistente, a doença diminuiu de forma linear até a dose de N de 180 kg ha^{-1} e a partir de $1,50 \text{ kg ha}^{-1}$ de Si;
- d) A produtividade do milho, nos dois genótipos, foi máxima na dose de 120 kg ha^{-1} de N e não houve efeito da adubação silicatada.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALISSON, J.C.S.; WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. **Annals of Botany**, London v.30, p. 365-381, 1996.

ARF, O.; FERNANDES, R.N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R.A.R.; SÁ, M.E.; ANDRADE, J.A.C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, p.211-217, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análises de Sementes**. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, 1992. 365p.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.87-98, 2006.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York, NY, John Wiley & Sons, 1990.

CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 2004. 114p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CARNEIRO, L.F.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.L.; CURTI, N.; SANTOS, J.Z.L.; LAGO, F.J. Fontes, doses e modo de aplicação de fósforo na interação fósforo zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, p.1133-1141, 2008.

CRUZ, C.D. **Programa Genes. Estatística experimental e matrizes**. Viçosa: Editora UFV. 2006. 285p.

DODD, J.L. The role of plant stresses in development of corn stalk rots. **Plant Disease**, St. Paul, v.64, n.6, p.533-537, 1980.

DONAHUE, P.J.; STROMBERG, E.L.; MYERS, S.L. Inheritance of reaction to gray leaf spot in a diallel cross of 14 maize inbreds. **Crop Science**, v.31, p.926-931, 1991.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de GHEYI, H.R.; SOUZA, A.A.; DAMASCENO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. Campina Grande: UFPB, 1994. p.154-159. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

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, p.161-171, 2008.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**/Embrapa solos, Embrapa informática Agropecuária, Org. Fábio César da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EPSTEIN, E. & BLOMM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

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

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba. ESALQ/USP/LPV. 2003. 208p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 45, 2000, São Carlos **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

FNP CONSULTORIA. AGRIANUAL 2009: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, 2009. 544p.

GAMBOA, A. **La fertilización del maíz**. Berna: Instituto Internacional de La Potassa, 1980.

HILTY, J.W.; HADDEN, C.H.; GARDEN, F.T. Response of maize hybrids and inbred lines to gray leaf spot disease and the effects on yield in Tennessee. **Plant disease**, St. Paul, v.63, p.515-518, 1979.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. ICIAG: Uberlândia, 2004. (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim técnico ; 02) 50p.

LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no cerrado**. 2002. 148p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas** (2a. edição), Potafos, Piracicaba, SP. 1997, 319p.

- MANH, N.Q. **Inheritance of resistance to gray leaf spot in maize.** Dissertação de mestrado. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. 1977
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.; IONASHIRO, M. de; SILVA, A. K. Gravimétric determination of soil organic matter. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.43, n.5, p.475–478, 2000.
- MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogeneamente. **Bragantia**, São Paulo, v.67, p. 817-825, 2008.
- OBREZA, T.A.; RHOADS, F.M. Irrigated corn response to soil-test indices and fertilizer nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.701-706, 1988.
- OLIVEIRA, J.M.S.; CAIRES, E.F. Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.2, p.351-357, 2003.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade.** Londrina, IAPAR – Circular n.76, 1992. 40p. ilustr.
- REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.R. **Manual de Diagnose e Controle de Doenças do Milho.** 2. ed. Lages: Graphel, 2004. 144p.
- REUTER, D.; ROBISON, J.B. **Plant analysis: an interpretation manual.** 2nd. edn. Callingwood, Australia: CSIRO, 1997.
- RUPE, J.C.; SIEGEL, M.R.; HARTMAN, J.R. Influence of environment and plant maturity on gray leaf spot of corn caused by *Cercospora zea-maydis*. **Phytopathology**, Saint Paul, US, v.72, n.12, p.1587-1591, 1982.
- SANDINI, I.E.; FANCELLI, A.L. **Milho: estratégias de manejo para a região sul.** Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária. 2000. 209p.
- SANTOS BOTELHO, D.M.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.; BOTELHO, C.E.; SOUZA, P.E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira** v.30, p.582-588. 2005.
- SANTOS, M.M.; GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V.; FERREIRA, L.R.; MELO, A.V.; FONTANETTI, A. Espaçamento entre fileiras e adubação nitrogenada no milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.527-533, 2007.

- SANGOI, L.; ERNANI, P.L.; SILVA, P.R.F. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillage systems in a soil with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.507-517, 2007.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56p.
- SHANER, G.; FINNEY, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, US, v.67, p.1051-1056, 1977.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.477-486, 2006.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; MONTEIRO, R.O.C.; BUZETTI, S. Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.445-452, 2007.
- SILVA, M.A.G.; PORTO, S.M.A; MANNIGEL. A.R.; MUNIZ, A.S.; MATA, J.D.V.; NUMOTO, A.Y. Manejo da adubação nitrogenada e influência no crescimento da aveia preta e na produtividade do milho em plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.2, p.275-281, 2009.
- SOUZA, P.P. **Evolução da cercosporiose e da mancha branca do milho e quantificação de perdas, em diferentes genótipos com controle químico**. 2005. 77p. Dissertação de Mestrado. Uberlândia MG. Universidade Federal de Uberlândia. 2005.
- THIEN, S.J.; McFEE, W.W. Influence of nitrogen on phosphorus absorption and translocation in *Zea mays*. Proceedings **Soil Science Society of America**, Madison, v.34, p.87-90, 1970.
- TOMAZELA, L.T. **Adubação nitrogenada e de nutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho**. 2005. 57p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- VELOSO, M.E.C. **Potencialidade de impacto ambiental por nitrato, doses de N e flutuação do lençol freático para a cultura do milho sob sistema de drenagem**. 2006. 126p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- VILLAS BOAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; GODOY, L.J.G.; FERNANDES, D.M. Recuperação de nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas de milho. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.264-272, 2005.

WARD, J.M.J. & NOWELL, D.C. Integrated management for the control of maize gray leaf spot. **Integrated Pest Management Reviews**, v.3, p.1-12. 1998.

WARD, J.M.J.; STROMBERG, E.L.; NOWELL, D.C.; NUTTER-JR, R.W. Gray leaf spot – a disease of global importance in maize production, **Plant Disease**, St. Paul, v.83, n.10, p.884-895, 1999.

WEAVER, R.M.; SYERS, J.K.; JACKSON, M.L. Determination of silicon in citrate-bicarbonate-dithionite extracts of soils. **Soil Science Society of America Journal** v.32, p.497-501, 1968.

EFEITO DO NITROGÊNIO E SILÍCIO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DA CULTURA DO MILHO

RESUMO

O nitrogênio é o nutriente que proporciona maior aumento de produtividade de grãos na cultura do milho. O silício, por outro lado, tem um efeito benéfico às plantas, pois atua no controle de pragas e moléstias, bem como melhora a eficiência no aproveitamento da água absorvida pelas plantas, na atividade fotossintética e produção de carboidratos. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da adubação nitrogenada e silicatada nas características agronômicas do milho. O estudo foi conduzido no campus da Faculdade Integrado de Campo Mourão, no delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 4x4 com quatro repetições. Foram implantados 16 tratamentos, com quatro doses de N (0; 60; 120 e 180 kg ha⁻¹) utilizando o sulfato de amônio em cobertura e quatro doses de Si (0; 1,25; 2,50 e 3,75 kg ha⁻¹) utilizando ácido monossilícico, em dois genótipos de milho (híbridos simples AG-9010 e DKB-330), totalizando 64 parcelas para cada genótipo. A produtividade apresentou resposta quadrática com as doses de N. A produtividade máxima estimada de 9543,8 e 9192,9 kg ha⁻¹, ocorreu nas doses de N de 116,1 e 120,1 kg ha⁻¹, respectivamente, para os genótipos AG-9010 e DKB-330. A adubação silicatada aumentou a produtividade de grão no genótipo DKB-330, sendo máxima (9133,3 kg ha⁻¹), na dose estimada de 1,31 kg ha⁻¹ de ácido monossilícico.

Palavras Chave: *Zea mays* L., adubação nitrogenada e silicatada; componentes de produção.

1 INTRODUÇÃO

A adubação é uma das práticas de manejo que mais contribui para o aumento de produtividade do milho, além de melhorar a qualidade protéica dos grãos. Entre os nutrientes fornecidos com a adubação, o mais exigido e absorvido é o nitrogênio, que pode trazer respostas em produtividade, de acordo com a dose, a época e a forma de aplicação (FERREIRA et al, 2001).

Em relação à forma de aplicação, a adubação nitrogenada para o milho é realizada na semeadura (adubação na base) e adubação em cobertura e, nesse caso, o N é aplicado em maior quantidade. A aplicação em cobertura é complementar à adubação de base, quando se deseja melhorar o suprimento do nutriente no solo e alcançar produtividades mais elevadas (PEIXOTO et. al. 2003).

Entretanto a melhor dose de N para o milho pode ser diferente em relação à textura do solo, matéria orgânica e o manejo do solo (BAYER, 1996). Assim espera-se alta probabilidade de resposta em solos menos argilosos e com baixa quantidade de matéria orgânica. Isso ocorre porque, além de se ter um solo mais pobre quimicamente, também há menor retenção do N amoniacal, menor mineralização do N orgânico e alta percolação do N nítrico (DYNIA et al., 2006).

De qualquer forma, o milho tem respondido bem à adubação nitrogenada, mesmo em solos que originalmente apresentam teores adequados de N, como os mais argilosos e com alta quantidade de matéria orgânica, sob plantio direto (ESCOSTEGUY, et al., 1997; SERRA, 2006). Isso ocorre porque o milho é uma cultura bastante exigente em N. O nutriente desempenha importantes funções no metabolismo da planta, participando como constituintes de aminoácidos e proteínas, ácidos nucléicos, enzimas e coenzimas, vitaminas, glico e lipoproteínas, citocromos, e pigmentos como a clorofila (MALAVOLTA, et al., 1997). Outro aspecto favorável é que o N é responsável pelo aumento da área foliar com maior capacidade de assimilar CO₂ e sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, resultando em maior

acúmulo de biomassa (FERNÁNDEZ et al. 1994). De acordo com Bull (1993) e Duete et al. (2008), a maioria dos estudos realizados mostra que os melhores resultados são obtidos com a aplicação de 15 a 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e de 90 a 120 kg ha⁻¹ em cobertura, totalizando entre 120 e 150 kg ha⁻¹ de N, normalmente não sendo economicamente viável o uso de doses de N muito acima desses valores, porque as repostas são pequenas.

Da mesma forma, as gramíneas apresentam resposta ao silício, não só em crescimento foliar, mas também em produção de grãos como na cultura do arroz, a cana-de-açúcar e o milho (ELAWAD & GREEN, 1979, KORNDÖRFER & LEPSCH, 2001; citados por REIS et al., 2008). Tal fato ocorre porque o Si têm apresentado efeitos benéficos sobre o crescimento das plantas, pois forma na parede celular uma camada impermeável de sílica, dificultando a perda de água pela planta, o que faz com que a planta seja mais eficaz na utilização da água absorvida. Em consequência as folhas tornam-se mais eretas, com melhor aproveitamento da luz do dossel, e um processo fotossintético mais eficiente, em relação à produção de açúcares (KORNDÖRFER et al. 2004; EPSTEIN & BLOMM, 2006).

Além disso, o silicato pode favorecer o espessamento da parede celular que se constitui em uma barreira física à penetração de fitopatógenos e insetos (BLAICH e GRUNDHÖFER, 1998; DATNOFF et al. 1997). Do ponto de vista químico, o Si faz aumentar a quantidade de lignina e hemicelulose na parede celular; e do ponto de vista bioquímico, os silicatos estão relacionados à síntese de compostos fenólicos e a um estímulo à atividade enzimática (peroxidase e polifenoloxidase) as quais oxidam os compostos fenólicos em quinonas, considerados antibióticos naturais (CHÉRIF et al., 1992).

O objetivo deste trabalho foi de avaliar os efeitos da adubação nitrogenada em cobertura no solo e da adubação silicatada foliar nos componentes de produção do milho, em solo argiloso sob plantio direto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida no campus da Faculdade Integrado de Campo Mourão, localizado no município de Campo Mourão, (52°22'40" W, 24°02'38" 24° S) com altitude de aproximadamente 630 m. A pluviometria situa-se entre 1.400 mm e 1.500 mm por ano. O clima segundo Köppen é classificado como subtropical úmido mesotérmico.

O experimento foi conduzido durante os meses de setembro de 2006 a fevereiro de 2007.

2.2 Amostragem e análises do solo

O solo em estudo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (EMBRAPA, 2006). Anterior à implantação do experimento foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-20 e 20-40 cm para a determinação de características químicas do perfil do solo (Quadro 1). A análise de pH, Al, H+Al, Ca, Mg, P e K foi realizada segundo metodologia descrita em Pavan et al. (1992) e a matéria orgânica segundo a metodologia descrita por Miyazawa et al. (2000). A extração do Si foi realizada segundo metodologia descrita por Weaver et al. (1968).

Quadro 1. Propriedades químicas do solo antes da implantação da pesquisa nas camadas de 0-20 e 20-40 cm

Profundidade	pH	MO ¹	P ²	Si ³	K ²	Ca ⁴	Mg ⁴	Al ⁴	H+Al ⁵	SB	T	V
cm	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³						%	
0-20	5	75,02	10,62	7,7	0,13	3,76	1,73	0,05	6,64	5,62	12,26	45,8
20-40	4,85	70,01	3,8	6,4	0,08	2,55	1,32	0,1	6,94	4,07	11,01	36,3

¹ MO – Método gravimétrico; ²P e K – Mehlich 1; ³ Si – CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; ⁴Al, Ca e Mg – KCl 1N; e ⁵ H+Al – SMP.

2.3 Caracterizações dos híbridos utilizados

Foram utilizados dois híbridos simples comerciais de milho (AG-9010 e DKB-330) com indicações de resistência à *C. zea-maydis* diferenciadas conforme informação fornecida pelas empresas produtoras (Quadro 2).

Quadro 2. Características agronômicas e reação à mancha de cercospora dos dois híbridos utilizados nos dois experimentos, Campo Mourão, PR

Experimento	Híbrido	Tipo ¹	GD ²	Classificação comercial	<i>Cercospora zea-maydis</i>	Indicação ³	Semeadura ⁴	Densidade ⁵
1	AG 9010	HS	770	Superprecoce	Baixa tolerância	S/TS/N	C/N/T/S	60-70/55
2	DKB 330	HS	810	Superprecoce	Tolerante	S/TS/TN/N	C/N/T/S	55/70

¹Tipo – HS: híbrido simples; ²GD: número de graus-dia para o florescimento (°C dia); ³Indicação: S (Sul: RS, SC e PR – Sul e Oeste). TS (Transição Sul: MS- Sul, SP-Sul e PR-Norte); TN (Transição Norte: MG- Sul e SP- Nordeste); N (Norte: SP- Noroeste, MG, GO, RJ, MS, - Norte, MT, DF, BA- Oeste, N e NE); ⁴Semeadura: C (Cedo), N (Normal), T(Tarde) e S (Safrinha); ⁵Densidade: em mil plantas por hectare.

2.4 Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

Nos dois experimentos foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de combinações dos fatores doses de nitrogênio e de silício arranjados no esquema fatorial 4x4, totalizando 16 tratamentos para cada genótipo (Quadro 3).

Quadro 3. Tratamentos de doses de nitrogênio em cobertura e silício via foliar na cultura do milho, Campo Mourão - PR

Tratamentos	Nutrientes e doses		Tratamentos	Nutrientes e doses	
	Nitrogênio	Silício		Nitrogênio	Silício
kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
1	0	0,00	9	120	0,00
2	0	1,25	10	120	1,25
3	0	2,50	11	120	2,50
4	0	3,75	12	120	3,75
5	60	0,00	13	180	0,00
6	60	1,25	14	180	1,25
7	60	2,50	15	180	2,50
8	60	3,75	16	180	3,75

Cada genótipo utilizado esteve sob influência de quatro doses crescentes de adubação nitrogenada (0; 60; 120 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio) em cobertura, utilizando o fertilizante sulfato de amônio (21% N) como fonte e quatro doses crescentes de adubação silicatada foliar (0; 1,25; 2,50 e 3,75 kg ha⁻¹ de ácido monossilícico) utilizando o fertilizante Maxil como fonte (17,4% de Si).

Cada unidade experimental foi constituída por seis linhas de 5,0m de comprimento, com espaçamento de 0,8m entre linhas, resultando numa área de 24m². As duas linhas externas foram consideradas bordaduras e descartou-se 0,5m nas extremidades das quatro linhas centrais (área útil de 12,8m²).

2.5 Semeadura do milho e tratamentos culturais

Os experimentos foram instalados em área com plantio direto, tendo seu início no dia 7 de setembro de 2006, quando foi realizada a dessecação sobre a cultura da aveia (*Avena strigosa*) com 5 L ha⁻¹ de glyphosate, aplicado com o uso de um pulverizador de barras regulado para vazão de 200 L ha⁻¹.

O tratamento de sementes foi efetuado para os dois genótipos, com thiamethoxam (210g 100 kg i.a.) 300 mL do produto comercial por 100 kg de semente e; fludioxonil (2,5% i.a.) e metalaxyl-M (1,0% i.a.) 150 mL do produto comercial por 100 kg de semente, como forma de prevenção contra o ataque das principais pragas iniciais da cultura, bem como para o fornecimento de

micronutrientes (zinco e boro).

A aplicação de adubo na semeadura foi realizada nos sulcos espaçados de 0,80m entre si, abertos com sulcador tracionado por trator, contendo 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O, 13 kg ha⁻¹ de Ca e 30 kg ha⁻¹ de S. As determinações das doses de tais elementos foram fundamentadas nos resultados da análise do solo (Tabela 1), na eficiência das fontes utilizadas e nos valores de exportação desses nutrientes pela cultura do milho (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000).

A semeadura foi realizada manualmente nos sulcos de adubação, no dia 27 de setembro de 2006, dispondo-se duas sementes a cada 0,23m, as quais foram distribuídas com o uso de semeadora manual.

A emergência do milho ocorreu no dia 03 de outubro. Por ocasião da terceira folha completamente desdobrada, realizou-se o desbaste, deixando-se aproximadamente 4,5 plantas por metro linear utilizando-se a população final entre 56.250 e 57.812,5 plantas ha⁻¹ para os dois genótipos estudados.

Para o controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), foram aplicado aos 12 e 26 dias após a emergência (DAE) os inseticidas methamidophos (Tamaron) (0,6 L ha⁻¹) e monocrotophos (Agrophos 400) (0,6 L ha⁻¹) respectivamente, visando evitar a ocorrência de danos provocados pela praga. Foi realizada uma capina manual em novembro de 2006.

2.6 Aplicação dos tratamentos com adubação nitrogenada e silício via foliar

A aplicação do nitrogênio em cobertura foi realizada no dia 19 de outubro de 2006, sendo as doses distribuídas a lanço na linha do milho no estágio de quatro folhas definitivas ou quatro folhas totalmente expandidas V4 (RAIJ et al. 1997), utilizando o fertilizante sulfato de amônio como fonte. O solo encontrava-se úmido, com ocorrência de chuva de 11 mm no dia anterior.

A aplicação foliar do ácido monossilícico foi realizada no estágio fenológico V6 (seis folhas expandidas) seguindo recomendação do fabricante, com pulverizador costal, pressão constante de CO₂ de 25 kgf. cm⁻³, equipado com barra de 2,0 metros de largura e quatro bicos (espaçados em 0,50m) de jato plano da série 110.02, proporcionando volume de aplicação de 200 L ha⁻¹.

2.7 Colheita

A colheita do genótipo AG-9010 foi realizada aos 127 dias após a semeadura (DAS), no dia 1 de fevereiro de 2007 e o genótipo DKB-330 foi colhida aos 131 DAS, no dia 5 de fevereiro de 2007.

As espigas foram colhidas, debulhadas e os grãos secos em estufa com circulação de ar a 105°C até peso constante para determinação da umidade, conforme a metodologia descrita nas Regras para Análise de sementes (BRASIL, 1992). A massa seca dos grãos de milho em kg por hectare foi ajustada para 13% de umidade.

2.8 Avaliações dos componentes de produção

a) Comprimento médio das espigas (CESP) e número médio de fileiras da espiga (NFESP): determinadas em 20 espigas por parcela, amostradas aleatoriamente, dentro das quatro linhas centrais.

b) Massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA): determinada através da coleta de 20 plantas por parcela, amostradas aleatoriamente, com colmo, pendão, folhas e palha da espiga; dessas vinte plantas, duas plantas foram amostradas nas quais foram efetuadas a separação em diferentes partes (colmo, pendão, folhas e palha da espiga). As partes semelhantes coletadas nas plantas de cada parcela foram reunidas e colocadas em sacos de papel. Posteriormente, realizou-se a pesagem (obtenção de peso úmido) de cada parte, as quais foram submetidas a uma pré-secagem natural por cinco dias e, posteriormente, a uma secagem forçada em estufa a 65°C até atingir massa constante (massa seca). Com esses dados obtiveram-se a MMSPA em kg ha^{-1} considerando a população de plantas por hectare, que variou entre 56.250 e 57.812,5 plantas ha^{-1} de acordo com a população de cada parcela.

c) Massa específica de grãos (ME): determinação através da pesagem de três amostras de um litro de sementes, amostrado pelo Determinador de Massa Específica (kg m^{-3}), corrigida para 13% de umidade.

d) Produtividade (PROD): obtida a partir da debulha e pesagem de grãos oriundos de todas as espigas colhidas na área útil das parcelas experimentais (kg parcela^{-1}), corrigida para 13% de umidade, obtendo-se então PROD em kg ha^{-1} considerando a população de plantas por hectare, que variou entre 56.250 e 57.812,5 plantas ha^{-1} de acordo com a população de cada parcela.

2.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para as variáveis: comprimento de espigas (CESP), número de fileiras (NFESP), massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA), massa específica de grãos (ME), e produtividade (PROD).

Para as variáveis onde o efeito isolado de doses de nitrogênio ou de doses de silício foi significativo, foram ajustados modelos de regressão para quantificar o efeito de cada variável independente sobre as variáveis respostas (dependentes), utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

Onde o efeito da interação entre doses de nitrogênio e de silício foi significativo, foram ajustados modelos de regressão múltipla, ou superfície de resposta pelo programa estatístico GENES (CRUZ, 2006). Para a seleção das equações, foram usados os critérios de significância do teste F para o modelo e do teste t para os seus coeficientes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características agronômicas do genótipo AG-9010

A análise de variância para verificar o efeito da adubação com nitrogênio e silício nos componentes de produção, como o comprimento da espiga (CESP), número de fileiras na espiga (NFESP), massa específica dos grãos (ME) massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e produtividade do milho (PROD), está resumida no Quadro 4. A adubação nitrogenada influenciou a produtividade do milho e a produção de massa seca da parte aérea foi influenciada pela interação entre o nitrogênio e silício.

Quadro 4. Análise de variância, média e coeficiente de variação (C.V.) referente a comprimento de espiga, número de fileiras por espiga, massa específica, massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e produtividade do genótipo AG-9010

Fontes de variação	Comprimento de espigas (cm)	Número de fileiras	Massa específica (kg L ⁻¹)	MMSPA (kg ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Doses N	0,1831 ^{ns}	0,7245 ^{ns}	0,9321 ^{ns}	0,5701 ^{ns}	0,0093 ^{**}
Doses Si	0,0626 ^{ns}	0,5376 ^{ns}	0,1627 ^{ns}	0,1156 ^{ns}	0,3346 ^{ns}
NxSi	0,1242 ^{ns}	0,1937 ^{ns}	0,3123 ^{ns}	0,0418 [*]	0,6233 ^{ns}
Média	18,8	14,7	625,0	11349,7	9174,6
C.V. (%)	3,7	3,1	4,6	15,1	8,5

Significativo em nível de 5%(*) e 1%(**) de probabilidade e não significativo (^{ns}), pela análise de variância

3.1.1 Produção de massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) do genótipo AG-9010

A MMSPA constituída por colmo, pendão, folha e palha da espiga, foi influenciada pelas doses de N e Si e se ajustou a um modelo de regressão múltipla, em função das doses dos nutrientes (Figura 1). Os gradientes de declive das linhas que compõem a superfície de resposta foram mais acentuados para as doses de N comparativamente às doses de Si.

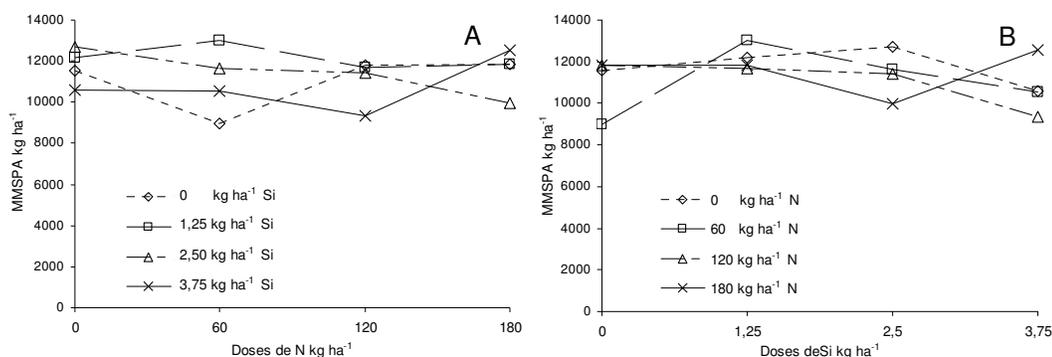


Figura 1. Massa de matéria seca de parte aérea (MMSPA) no genótipo AG-9010, nas doses de nitrogênio (A) em cobertura no V4, como sulfato de amônio e silício foliar (B), como ácido monossilícico, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

A produção de MMSPA foi diferente de acordo com as doses de Si. Na dose zero de Si, à medida que se aumentou a adubação nitrogenada, a massa seca também aumentou. As quantidades (kg ha⁻¹) foram 11.556,3; 8.982,0; 11.813,3; 11.825,0, respectivamente para as dosagens de N: 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 1A).

Na dose de Si de 3,75 kg ha⁻¹, as quantidades de MMSPA do milho, com as doses de N foram 10.571,8; 10.558; 9.332,0; 12.547,3 kg ha⁻¹, para as doses de 0, 60, 120 e 180 kg N ha⁻¹, respectivamente (Figura 1B).

A maior produção de MMSPA ocorreu na dose de Si correspondente a 1,25 kg ha⁻¹, e na doses de 60 kg ha⁻¹ de N (13.026, 17 kg ha⁻¹) (Figura 1B). O aumento significativo da MMSPA era esperado com o incremento das doses da adubação nitrogenada. Embora a produção de MMSPA e a adubação nitrogenada estejam associadas a um adequado crescimento da planta, o solo, por sua formação, já continha uma alta quantidade de N, o que pode explicar a pouca variação dos resultados encontrados.

Ficou evidente que as doses aplicadas de silício foliar interferiram no efeito das doses de N (Figura 1B). Esses resultados não estão de acordo com Mauad et al., (2003) que encontraram efeito sobre MMSPA, apenas para doses de N e sem influência das doses de Si e interação NxSi, na cultura do arroz, em condições de ambiente protegido, e utilizando solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico. Porém, Reis et al. (2004) relatam que o silício, como fonte a Wollastonita, nas doses de 0, 100, 200, 300, 400 e 500 Mg

ha⁻¹ em Areia Quartzosa, na cultura do arroz apresentou aumentos lineares na produção de massa seca .

O aumento da MMSPA com o incremento das doses de N também foi verificado por Veloso (2006) que aplicou N em doses crescentes em cobertura (0, 20, 70, 120 e 170 kg ha⁻¹), na forma de uréia, em um GLEYSSOLO Eutrófico e obteve resposta de forma quadrática. Já Fernandes (2006), obteve ajuste linear para a massa seca, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sob plantio direto, com aplicação de N em cobertura (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), em híbrido simples DKB-350.

O Si possui efeitos benéficos sobre o crescimento das gramíneas, entre eles está depositado na forma de sílica amorfa na parede celular, que diminui a transpiração e melhora o aproveitamento da água absorvida assim como a arquitetura das plantas e a penetração da luz no dossel, além da barreira física que impede a entrada de patógenos e pragas pelas folhas (KORNDÖRFER et al. 2004; EPSTEIN & BLOMM, 2006).

3.1.2 Produtividade de grãos do genótipo AG-9010

A produtividade do milho foi influenciada pela adubação nitrogenada de forma quadrática, mas não houve efeito do silício (Figura 2). A produtividade máxima estimada (9.543,8 kg ha⁻¹) ocorreu na dose de 114,2 kg N ha⁻¹. O milho não respondeu às doses de N maiores que 114,2 kg ha⁻¹, o que pode ser atribuído a textura do solo, e à condição de plantio direto, onde o solo é mais orgânico. Outro fator importante a se considerar é a ocorrência de um período de seca, logo após a aplicação da adubação nitrogenada em cobertura. Correspondendo aos resultados, Campos et al. (2005) aplicaram N em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico, com 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura até 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, como sulfato de amônio, e obtiveram resposta quadrática para produtividade do milho. A produtividade máxima foi de 6.800 kg ha⁻¹ encontrada na dose de 96 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

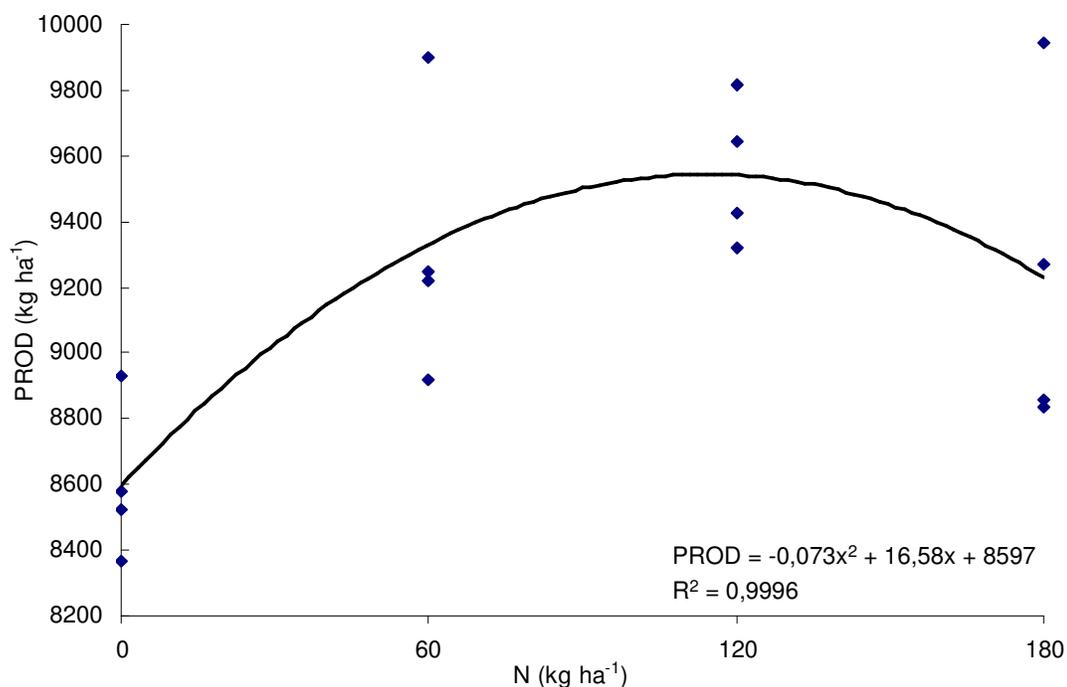


Figura 2. Produtividade de grãos (PROD) no genótipo AG-9010, nas doses de nitrogênio em cobertura no V4, como sulfato de amônio, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

Um comportamento quadrático semelhante foi observado por Silva et al. (2007), para milho híbrido da Pioneer 30F80 (semi-precoce), cultivado em solo LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, com doses de N em cobertura até 150 kg ha⁻¹ em plantio direto. As produtividades técnicas, com aplicação de N no estágio de quatro folhas, foram de 8.599 e 8.966 kg ha⁻¹ com as doses estimadas de 133 e 160 kg ha⁻¹, respectivamente, para os dois híbridos. Da mesma forma, corroboram com os relatos de Lange (2002), Soares (2003) e Veloso (2006) os quais encontraram respostas quadráticas para a produtividade do milho relacionada à adubação nitrogenada em cobertura.

Cruz et al. (2008) obtiveram resposta quadrática e uma produtividade de 3.860 kg ha⁻¹, na dose máxima estimada de 116,5 kg ha⁻¹, em um dos genótipos. Nos outros quatro híbridos, a resposta foi linear.

3.2 Resposta do genótipo DKB-330 à adubação com nitrogênio e silício

De acordo com a análise de variância (Quadro 5), foi observado que a adubação nitrogenada foi significativa para o comprimento da espiga (CESP), assim como para a produtividade do milho (PROD). Não foi encontrada resposta do N para os demais parâmetros de produção, como o número de fileiras na espiga (NFESP) e a produção de massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA). A adubação com silício não apresentou efeito nos parâmetros avaliados. Houve interação entre N e Si quando avaliada massa seca da parte aérea (Quadro 5).

Quadro 5. Análise de variância, média e coeficiente de variação (C.V.) referente a comprimento de espiga, número de fileiras por espiga, massa específica, massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e produtividade do genótipo DKB-330

Fontes de variação	Comprimento de espigas (cm)	Número de fileiras	Massa específica (kg L ⁻¹)	MMSPA (kg ha ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Doses N	0,0153 *	0,0702 ^{ns}	0,5891 ^{ns}	0,0090 **	0,0031 **
Doses Si	0,9125 ^{ns}	0,3928 ^{ns}	0,8593 ^{ns}	0,0012 **	0,0802 ^{ns}
NxSi	0,8028 ^{ns}	0,1967 ^{ns}	0,6814 ^{ns}	0,0399 *	0,8451 ^{ns}
Média	19,1	15,0	696,52	10778,3	8942,5
C.V. (%)	2,3	4,5	2,03	13,4	5,7

Significativo em nível de 5%(*) e 1%(**) de probabilidade e não significativo (^{ns}), pela análise de variância

3.2.1 Produção de massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) do genótipo DKB-330

A produção de MMSPA acompanhou o crescimento da planta e a aplicação do N no solo, independente da adubação silicatada (Figura 3). Na dose zero de Si as produções (kg ha⁻¹) foram de 12.732,8; 9969,5; 11.294,5 e 14.483,0, nas doses de N de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente. Na dose de Si de 3,75, a massa seca (kg ha⁻¹) foi de 9.369,5; 10.843,8; 10.003,5 e 10.946,3. A maior produção relacionou-se às doses de N de 180 kg ha⁻¹, sem a aplicação de Si (14.483,0 kg ha⁻¹).

O efeito do Si no solo nas doses de 0, 330 e 560 mg dm⁻³ de Si sobre a

produção de massa seca em arroz, foi estudado por Tokura et al. (2007) os quais verificaram que não houve alteração nesse parâmetro. Da mesma forma, Liang et al. (1994) e Mauad et al. (2003) na cultura do arroz não encontraram influência do Si na massa seca, em função das doses de Si, tendo como fonte o silicato de cálcio (Wollastonita) no solo. Da mesma forma Correia et al. (2007) relataram que não houve nenhuma resposta do Si no crescimento do milho, quando aplicado foliar, nas doses de 0, 1, 2, 4, 8 e 16 g ha⁻¹ de Si na cultura do arroz.

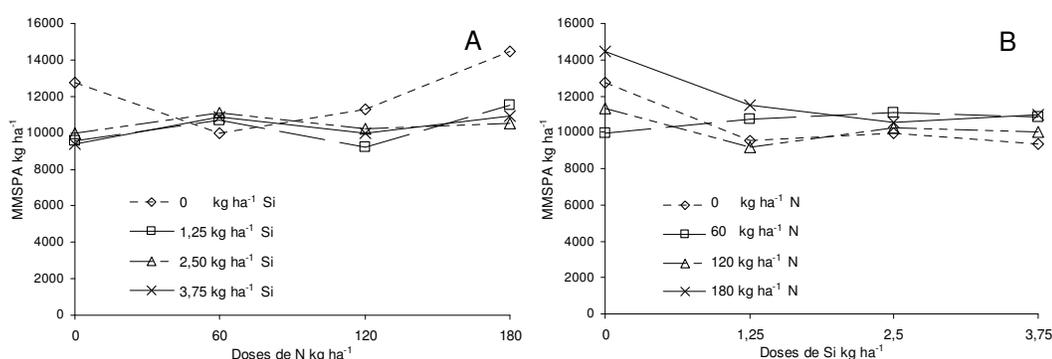


Figura 3. Massa de matéria seca de parte aérea (MMSPA) no genótipo DKB-330, nas doses de nitrogênio (A) em cobertura no V4, como sulfato de amônio e silício foliar (B), como ácido monossilícico, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

3.2.2 Comprimento médio das espigas do genótipo DKB-330

O comprimento médio das espigas (CESP) aumentou de forma linear com o aumento das doses de N (Figura 4). Comportamento semelhante foi observado por Fernandes (2006) em dois anos consecutivos de milho, porém, a função linear ajustada para esta variável, segundo Silva (2002), não era esperada, pois esta característica é de alta herdabilidade genética e menos dependente do meio. Já trabalhos realizados por Silva (2001) e Silva & Buzetti (2002) mostraram ajustes à função quadrática desta variável em função das doses crescentes de N.

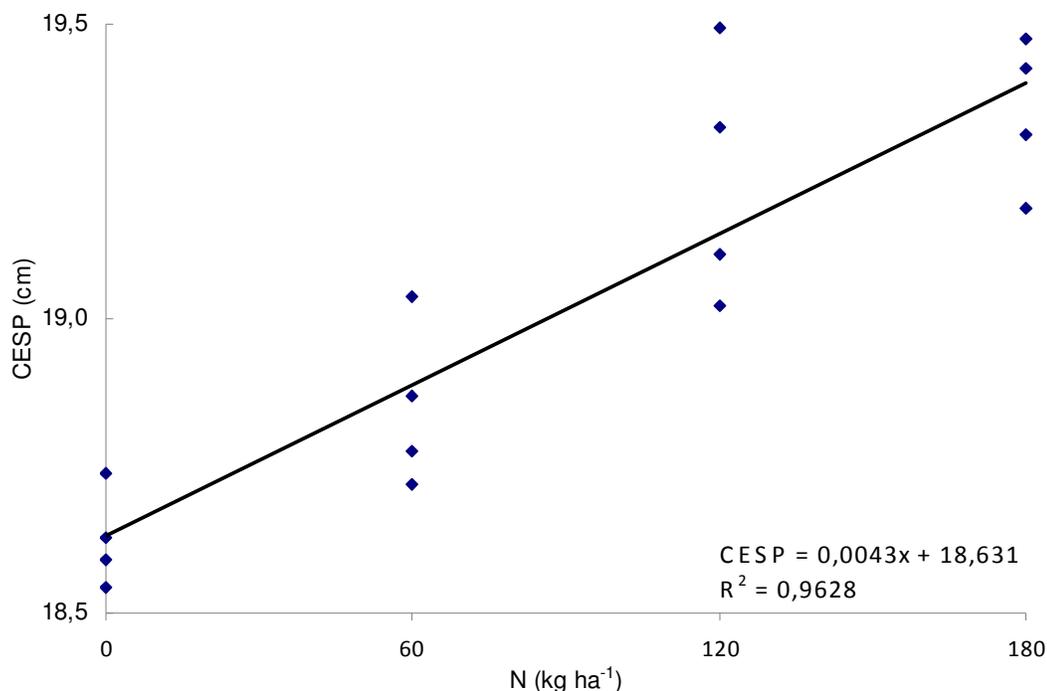


Figura 4. Efeito de doses crescentes de nitrogênio em cobertura sobre o comprimento de espigas (CESP) de milho para o genótipo DKB-330, em Campo Mourão - PR, safra agrícola 2006/07

3.2.3 Produtividade do genótipo DKB-330 relacionada à adubação nitrogenada

A produtividade apresentou um ajuste quadrático em função das diferentes doses de N (Figura 5). A produtividade máxima estimada foi encontrada para a dose de 120,1 kg N ha⁻¹ com 9.192,9 kg ha⁻¹ de grãos. O milho produziu menos em doses de N acima de 120 kg ha⁻¹ e a falta de resposta a doses maiores de N pode estar relacionada ao cultivo realizado em condições de plantio direto, onde naturalmente ocorrem teores mais altos do nutriente, provenientes da mineralização da matéria orgânica. Outro fator que pode ter contribuído para que o milho não respondesse a doses mais altas de N foi a limitação da dose de K aplicado no solo, que propiciou teores foliares mais baixos que os adequados, referidos por Bull & Cantarella (1993). Além disso, ocorreu ainda, logo após a adubação nitrogenada em cobertura, um período de veranico de 11 dias, que dificultou a absorção do nutriente pelo milho.

Veloso (2006) encontrou a máxima produtividade técnica de grãos (10.446 kg ha⁻¹) no tratamento com a aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N, em GLEYSSOLO eutrófico. Comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2007), Lange (2002), Soares (2003) e Veloso (2006), os quais também encontraram respostas quadráticas para produtividade do milho em função de doses de N em cobertura.

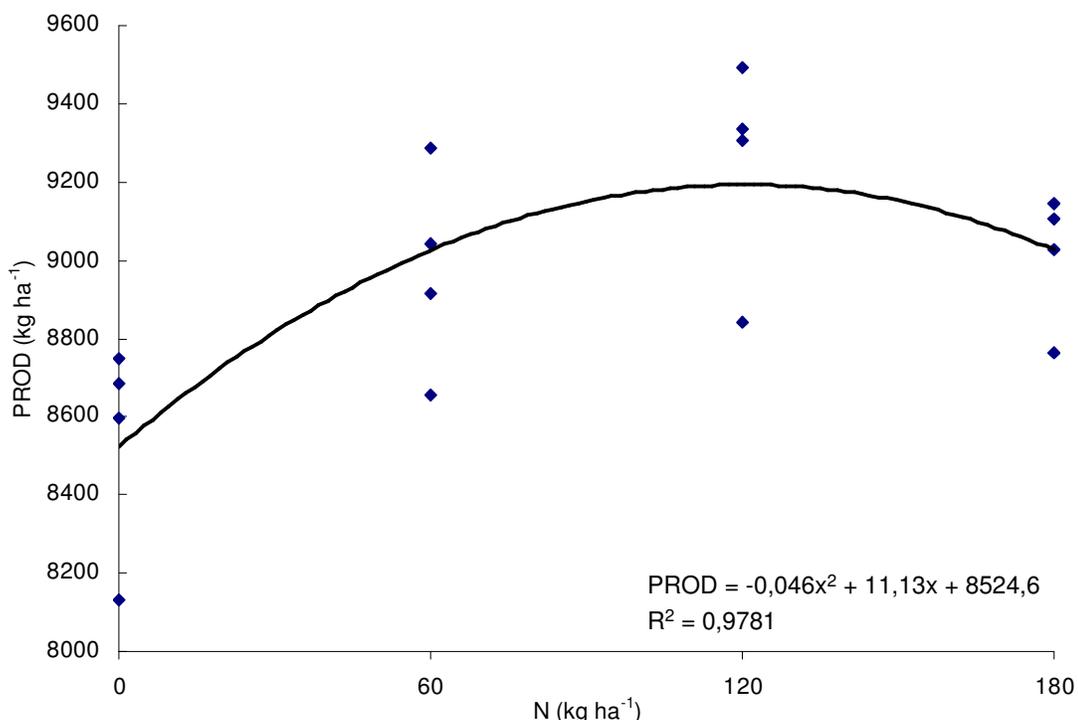


Figura 5. Efeito de doses crescentes de nitrogênio sobre a produtividade (PROD) de grãos da cultura do genótipo DKB-330, em Campo Mourão – PR, safra agrícola 2006/07

Por outro lado, Sá (1999), Lange (2002) e Gazzeta et al. (2005) em áreas de sistema de plantio direto encontraram um ajuste linear ao nitrogênio e produção do milho. Silva et al. (2003) observaram que o N aumentou o rendimento de grãos, de forma linear em milho híbrido Pioneer 30F80 e solo mais arenoso.

Os resultados de aumento na produção de grãos de milho, em relação à adubação nitrogenada corroboram com as afirmações de Cantarella & Raij (1986), os quais relatam que, em geral, 70 a 90% dos experimentos com milho executados em campo no Brasil responderam à aplicação de N.

4 CONCLUSÕES

- a) Os dois genótipos de milho estudados AG-9010 e DKB-330 apresentaram um ajuste quadrático, em relação à adubação nitrogenada e a produtividade.
- b) No genótipo AG-9010 a produtividade mais alta ($9.543,8 \text{ kg ha}^{-1}$) ocorreu na dose de N de $114,2 \text{ kg ha}^{-1}$
- c) No genótipo DKB-330 a produtividade mais alta ($9.192,9 \text{ kg ha}^{-1}$) ocorreu na dose de N de $120,1 \text{ kg ha}^{-1}$

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JR.A.S.; CARDOSO, M.J. Otimização da adubação nitrogenada em milho sob irrigação. In: XVIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia, **Anais...** Uberlândia: UFU, 2000. 1 CD-ROM.

ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, F.F.; COUTINHO, E.L.M. Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.2, p.691-1698, 2008.

BALKO, L.G.; RUSSEL, W.A. Response of maize imbred kines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, v.72, n.5, p.723-732, 1980.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 240p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

BLAICH, R.; GRUNDHÖFER, H. Silicate incrust induced by powdery mildew in cell walls of diferent plant species. **Zeitschift fur Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, v.105, p.114-120.1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para Análises de Sementes**. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, 1992. 365p.

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

CAMPOS, A.X. **Fertilização com sulfato de amônio em pré-semeadura e cobertura na cultura do milho em um solo de cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 2004. 119p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M.B.M. Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.47-49. 1986.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTTO, F. Efeitos da cobertura vegetal e da adubação nitrogenada sobre os componentes de produção do milho em sistema de semeadura direta. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.4, p.567-573, 2005.

CHÉRIF, M.; MENZIES, J.G.; BENHAMOU, N.; BÉLANGER, R.R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiological and Molecular Plant Patology**, v.41, p.371-385, 1992.

CORREIA, J.P.T.; BUCK, G.B.; KORNDÖRFER, G.H. Absorção foliar de silício comparada com o fornecimento do elemento via solo para a cultura do arroz. **Resumos 4.** Simpósio Brasileiro sobre silício na agricultura. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. p.119-122.

CRUZ, C.D. **Programa Genes. Estatística experimental e matrizes.** Viçosa: Editora UFV. 2006. 285p.

DA ROS, C.O.; SALETI, R.L.; PORN, R.L.; MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p.799-804, 2003.

DATNOFF, L.E.; DEREN, C.W.; SNYDER, G.H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, v.16, p.525-531, 1997.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Tradução de GHEYI, H.R.; SOUSA, A.A.; DAMASCENO, F.A.V.; MEDIROS, J.F. Campina Grande: UFPB, 1994. p.154-159. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DUETE, R.R.C.; MURAOKO, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.S. manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.161-171, 2008.

DYNIA, J.F.; SOUZA, M.D. e BOEIRA, R.C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.855-862, 2006.

EBELHAR, S.A.; KAMPRATH, E.J.; MOLL, R.H. Effects of nitrogen and potassium on growth and cation composition of corn genotypes differing in average ear number. **Agronomy Journal**, v. 79, n.5, p.875-881, 1987.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; RIZZARDI, M.A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.71-77, 1997.

ELAWAD, S.H.; GREEN Jr, V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL RISO**, v.28, p.235-253. 1979.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E. & BLOMM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

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

FERNANDES, F.C.S. **Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays* L.), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Avena strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto.** 2006. 197p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FERNÁNDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMÓN, E.; SUGRAÑES, L. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.15, n.9, p.1867-1884, 1994.

FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para windows versão 4.0. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 45. 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.

KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, v.80, n.2, p.232-242, 1988.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. A análise de silício no solo, planta e fertilizante. (**Boletim técnico, v.2**). Uberlândia: UFU, 2004. 50p.

LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no cerrado.** 2002. 148p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

LIANG, Y.C.; MA, T.S.; LI, F.J.; FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science and Plants Analysis**, New York, v.25, p.2285-2297, 1994.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 10p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 76).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARCHESAN, E.; VILLA, S.C.C.; MARZARI, V.; KORNDÖRFER, G.H.; SANTOS, F.N.M. Aplicação de silício em arroz irrigado: efeito nos componentes da produção. **Bioscience Journal**, v.20, n.3, p.125-131, sep/dec. 2004.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C.A.C.; CORRÊA, J.C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de

adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.867-873, 2003.

MENDONÇA, F.C.; MEDEIROS, R.D.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Adubação nitrogenada do milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.1035-1044, 1999.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L.; IONASHIRO, M. de; SILVA, A.K. Gravimetric determination of soil organic matter. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.43, n.5, p.475-478, 2000.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR – Circular n. 76, 1992. 40p. ilustr.

PEIXOTO, C.M.; HENTSCHE, C.; AGUIRRE, A. **Manejo de nitrogênio**. Caderno Técnico. Revista Cultivar, n.54, Pelotas, 2003. 10p.

PRADO, R.M.; KORNDÖRFER, G.H. Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivado em Latossolo Vermelho amarelo distrófico. **Científica**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.9-17, 2003.

RAIJ, B.VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REIS, C.B.; PEREIRA, H.S.; AQUINO, A.V. **Fontes de silício para a cultura do arroz**. http://www.propp.ufu.br/revistaeletronica/edicao2004/biosaude/fontes_de_silicio.PDF. Acesso: 20/12/2008.

REIS, M.A.; ARF, O.; SILVA, M.G.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Aplicação de silício em arroz de terras altas irrigado por aspersão. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v.30, n.1, p.37-43, 2008.

SÁ, J.C.M. **Manejo de fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.) Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: SBCS/UFLA/CDS, p.267-319, 1999.

SERRA, D.D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006, 93p. Dissertação de Mestrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006.

SILVA, E.C. **Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto na região do cerrado**. 2001, 83p. Dissertação

(Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2001.

SILVA, F.C.; BUZETTI, S. Efeito de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea mays* L) In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 24. 2002, Florianópolis, **Trabalhos...** Sete Lagoas: ABMX/EMBRAPA. Milho e Sorgo/EPAGRI, 2002. 1 CD-ROM

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; MONTEIRO, R.O.C.; BUZETTI, S. Análise econômica da adubação nitrogenada no milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura em Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.4, p.445-452, 2007.

SILVA, P.S.L.; OLIVEIRA, F.H.T. de; SILVA, P.L.B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidade de plantios sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21 n.3, p.454-457, 2003.

SOARES, M.A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho.** 2003. 92p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, ESALQ/USP. 2003.

SOUSA, V.B.F.; SOUSA, J.V.; CARVALHO JÚNIOR, P.C.; RODRIGUES, C.R.; MELO, S.P.; FIGUEIREDO, F.C. Aplicação foliar de silicato de potássio na soja: absorção de Si, severidade de ferrugem asiática e produtividade. **Resumos 4.** Simpósio Brasileiro sobre silício na agricultura. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, 2007, p.102-106.

TISSI, J.A.; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta do milho. **Bragantia**, v.63, p.405-413, 2004.

TOKURA, A.M.; FORTINI NETO, A.E.; CURI, N.; CARNEIRO, L.F.; ALOVISE, A.A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados em arroz sequeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.1, p.9-16, 2007.

TOMAZELA, L.T. **Adubação nitrogenada e de nutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho.** 2005. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VELOSO, M.E.C. **Potencialidade de impacto ambiental por nitrato, doses de N e flutuação do lençol freático para a cultura do milho sob sistema de drenagem.** 2006. 126p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

WEAVER, R.M.; SYERS, J.K.; JACKSON, M.L. Determination of silicon in citrate-bicarbonate-dithionite extracts of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.32, p.497-501. 1968.