Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Adubação nitrogenada e de micronutrientes na produtividade e
incidência de doenças foliares em milho**

André Luís Tomazela

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Fitotecnia

Piracicaba
2005

André Luís Tomazela
Engenheiro Agrônomo

**Adubação nitrogenada e de micronutrientes na produtividade e incidência de
doenças foliares em milho**

Orientador:

Prof. Dr. **JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Fitotecnia

Piracicaba

2005

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Tomazela, André Luiz

Adubação nitrogenada e de micronutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho / André Luiz Tomazela. - - Piracicaba, 2005.
57 p.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Cobre 2. Diagnose foliar 3. Doença de planta 4. Fertilizante nitrogenado 5. Manganês (Milho) I. Título

CDD 551.483

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Aos meus pais,

Luiz Tomazela e

Maria Tereza Bortoletto Tomazela

Pelo amor, orações, carinho, compreensão e por tudo o que fizeram para que eu chegasse até aqui. Pelo grande exemplo de fé em Deus e dignidade.

“MINHA ETERNA GRATIDÃO E HOMENAGEM”

Aos meus irmãos Daniela e Bruno, meus melhores amigos. À minha noiva Andressa pelo amor, compreensão e carinho.

DEDICO

Agradecimentos

- Ao Prof. Dr. José Laércio Favarin, pela orientação, paciência e, principalmente, pelo exemplo de profissionalismo;
- Ao Prof. Dr. Antonio Luiz Fancelli, pela constante colaboração durante meus trabalhos na pós-graduação;
- Ao Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffman, pelo incentivo, amizade e confiança;
- Ao nobre colega, Engenheiro Agrônomo Thomas Newton Martim pela valorosa ajuda nas análises estatísticas;
- Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal pela ajuda na condução dos trabalhos de campo;
- Ao colega Engenheiro Agrônomo Edson Teramoto pelo apoio e incentivo na elaboração da dissertação;
- À secretária da fitotecnia, Luciane, pela ajuda nas atividades relacionadas com os trâmites legais do processo;
- À **FAPESP** pela bolsa de estudo e o apoio financeiro para a execução do então projeto de pesquisa;
- A todos que diretamente e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Fenologia da planta.....	15
2.2 Adubação nitrogenada de milho.....	15
2.3 Nutrição mineral e resistência às doenças	17
2.3.1 Efeito do nitrogênio sobre doenças de plantas.....	18
2.3.2 Efeito do cobre sobre doenças de plantas	20
2.3.3 Efeito do manganês sobre doenças de plantas.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Área experimental	22
3.2 Delineamento experimental.....	23
3.3 Experimento de campo e parcela experimental	24
3.4 Aplicações foliares de fungicida e micronutrientes.....	25
3.5 Variáveis avaliadas	26
3.5.1 Altura de plantas (AP, m)	26
3.5.2 Diâmetro de colmo (DC, cm)	26
3.5.3 Índice de área foliar (IAF, $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$)	26
3.5.4 Matéria seca total (MST, g)	26
3.5.5 Incidência de doenças foliares	27
3.5.6 Estado nutricional da planta	27
3.5.7 Teor de fenóis totais (FT, %)	27
3.5.8 Comprimento de espiga (CE, cm)	28
3.5.9 Número de fileiras de grãos (NF) e grãos por fileira (GF)	28
3.5.10 Rendimento de grãos (RG, kg ha^{-1}).....	28
3.5.11 Massa de 100 grãos (M100, g).....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 Contrastes entre tratamentos das variáveis em pré-colheita.....	29

4.2 Avaliação do teor de fenóis totais.....	37
4.3 Avaliação do estado nutricional das plantas.....	38
4.4 Contrastes entre tratamentos das variáveis em pós-colheita	41
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS	50
6 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da análise química de solo para macronutrientes	22
Tabela 2 – Resultados da análise química de solo para micronutrientes.....	22
Tabela 3 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento	23
Tabela 4 – Contrastes entre os tratamentos avaliados estatisticamente	24
Tabela 5 – Médias do contraste 1 (100 kg ha ⁻¹ N x 200 kg ha ⁻¹ N) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção de planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....	29
Tabela 6 – Médias do contraste 2 (100 kg ha ⁻¹ N, sem fungicida x 100 kg ha ⁻¹ N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)	31
Tabela 7 – Médias do contraste 3 (100 kg ha ⁻¹ N, com fungicida x 100 kg ha ⁻¹ N, com micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....	32
Tabela 8 – Médias do contraste 4 (100 kg ha ⁻¹ N e sulfato de Cu x 100 kg ha ⁻¹ N e Hidróxido de Cu) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....	33
Tabela 9 – Médias do contraste 5 (100 kg ha ⁻¹ N, sulfato Cu e sulfato Mn x 100 kg ha ⁻¹ N, sulfato Cu e quelato Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de	

colmo (DC, cm), infecção planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)33

Tabela 10 – Médias do contraste 6 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, hidróxido Cu e sulfato Mn x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, hidróxido Cu e quelato Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....34

Tabela 11 – Médias do contraste 7 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sem fungicida x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....35

Tabela 12 – Médias do contraste 8 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com fungicida x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ e micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....35

Tabela 13 – Médias do contraste 9 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, hidróxido Cu) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g) ...36

Tabela 14 – Médias do contraste 10 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu e sulfato Mn x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu e quelato Mn) para a altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....36

Tabela 15 – Médias do contraste 11 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, hidróxido Cu e sulfato Mn x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, hidróxido Cu e quelato Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g).....37

Tabela 16 – Médias dos contrastes 1 a 6 para o teor de fenóis totais (FT, %), de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S (g kg^{-1}) e de micronutrientes B, Cu, Mn e Zn (mg kg^{-1})	39
Tabela 17 - Médias dos contrastes 7 a 11 para o teor de fenóis totais (FT, %), de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S (g kg^{-1}) e micronutrientes B, Cu, Mn e Zn (mg kg^{-1})	40
Tabela 18 – Médias do contraste 1 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha^{-1})	42
Tabela 19 – Médias do contraste 2 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sem fungicida x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha^{-1}).....	43
Tabela 20 – Médias do contraste 3 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com fungicida x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha^{-1})	43
Tabela 21 – Médias do contraste 4 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, hidróxido Cu) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha^{-1}).....	44
Tabela 22 – Médias do contraste 5 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu e Mn x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha^{-1})	45

- Tabela 23 – Médias do contraste 6 (100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e sulfato Mn x 100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹).....45
- Tabela 24 – Médias do contraste 7 (200 kg ha⁻¹ N, sem fungicida x 200 kg ha⁻¹ N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹).....46
- Tabela 25 – Médias do contraste 8 (200 kg ha⁻¹ N, com fungicida x 200 kg ha⁻¹ N e micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)47
- Tabela 26 – Médias do contraste 9 (200 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu x 200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹)47
- Tabela 27 – Médias do contraste 10 (200 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e sulfato Mn x 200 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹).....48
- Tabela 28 – Médias do contraste 11 (200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e sulfato Mn x 200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹).....49

RESUMO

Adubação nitrogenada e de micronutrientes na produtividade e incidência de doenças foliares em milho.

Doses elevadas de nitrogênio podem retardar a fase de maturação e aumentar o risco de infecção da planta devido ao tempo de exposição no campo e a predominância de substâncias de baixa massa molecular presentes no tecido. O efeito do cobre, no controle de patógenos, deve-se à pequena quantidade requerida pelos microrganismos em relação às plantas, bem como pelo acúmulo de peróxidos na presença desse nutriente, por reduzir a atividade da peroxidase e catalase. A importância do manganês pode ser comprovada pela correlação entre a concentração desse elemento nos tecidos saudáveis versus a concentração nos tecidos lesionados. Este experimento foi conduzido com os objetivos de: (i) avaliar a produtividade de milho pela aplicação de nitrogênio, bem como de cobre e manganês foliar; (ii) estimar a incidência e severidade de doenças em razão de doses de nitrogênio e fontes de cobre e manganês e (iii) estabelecer prática de manejo, com base na aplicação desses micronutrientes, visando à redução no uso de defensivos. O experimento consistiu de 12 tratamentos e quatro repetições, em blocos ao acaso, com dois fatoriais. O primeiro fatorial (2×2) corresponde às doses de nitrogênio (100 e 200 kg ha^{-1}) e a aplicação de fungicida (com e sem fungicida), enquanto o segundo fatorial ($2 \times 2 \times 2$) foi obtido por duas doses de nitrogênio, duas fontes de cobre (sulfato de cobre e hidróxido de cobre) e duas fontes de manganês (sulfato de manganês e manganês quelatizado). Para verificar os objetivos avaliou-se a altura de planta (m), diâmetro de colmo (cm), índice de área foliar, matéria seca total (g), incidência de doenças foliares, estado nutricional, teor de fenóis totais (%), comprimento de espigas (cm), número de fileira de grãos, grãos por fileira, massa de 100 grãos (g) e rendimento de grãos (kg ha^{-1}). O fornecimento de 200 kg ha^{-1} de N aumentou o rendimento de milho e o nível de infecção de planta pela ferrugem tropical (*Physopella zeae*), independentemente das fontes de cobre e manganês usadas nas aplicações foliares. As fontes de cobre e manganês, na forma de sulfato, foram mais eficientes na supressão de infecção de plantas pela ferrugem tropical (*Physopella zeae*) do que as formas de hidróxido de cobre e manganês quelatizado. Os micronutrientes cobre e manganês, na dose utilizada, não substituem a aplicação de fungicida para o controle de infecção pela ferrugem tropical (*Physopella zeae*). O uso de fungicida não eliminou a infecção de plantas pelo fungo, mesmo sob baixa severidade da doença, independentemente da dose de nitrogênio que foi aplicada.

Palavras chaves: cobre, diagnose foliar, doença de planta, fertilizante nitrogenado, manganês, milho

ABSTRACT

Nitrogen and micronutrients fertilization on yield and occurrence of leaf diseases on maize

High doses of nitrogen may retard the maturation phase and enhance the risk of plant infection due to the longer exposition period in field and to the predominance of low molecular mass substances in the leaf tissue. The effect of copper, to control pathogens is due to the lower requirements by microorganisms in relation to plants, as well to the accumulation of peroxides in the presence of this nutrient, reducing the activity of peroxidase e catalyses. The importance of manganese may be confirmed by the correlation between the concentrations of this element in health versus damaged tissues. The objectives of this study were: (i) to evaluate the yield of maize in relation to soil nitrogen and copper and manganese foliar application; (ii) to estimate the disease occurrence and severity in relation to the nitrogen doses and copper and manganese sources; and (iii) to establish management practices, based on micronutrients applications, aiming the reduction of pesticides use. The experiments had 12 treatments and four replications, in randomized block design, with two factorials. The first factorial (2 x 2) corresponded to the nitrogen doses (100 e 200 kg ha⁻¹) and fungicide application (with or without fungicide), whereas the second factorial (2 x 2 x 2) was established with two nitrogen doses, two copper sources (copper sulfate and copper hydroxides) and two manganese sources (manganese sulfate and chelates manganese). It was evaluated the plant height (m), stalk diameter (cm), leaf area index, total dry matter (g), and leaf disease occurrence (%), nutritional condition, total phenols content (%), spike length (cm), grain row number, number of grains per spike row, 100 grains mass (g) and grain yield (kg ha⁻¹). The supply of 200 kg ha⁻¹ N increased yield and infections by tropical rust (*Physopella zeae*), independently of the copper and manganese sources used with the foliar applications. The copper and manganese sources, as sulfate were more efficient for the suppression of plant infections by *Physopella zeae* then the hydroxide copper and chelates manganese. The copper and manganese micronutrients, at the studied dosage, did not replace the fungicide application for the infection control by tropical rust. The fungicide application did not eliminate the plant infections, even at the low severity of the disease (*Physopella zeae*), independently of the nitrogen dose.

Key words: copper, diagnose foliar, plant of disease, nitrogen fertilization, manganese, maize

1 INTRODUÇÃO

A planta de milho (*Zea mays* L.) está sujeita a uma série de doenças que afetam as folhas, colmo e espigas (BALMER; PEREIRA, 1987), sendo as doenças foliares responsáveis pela redução de 40 % da produtividade (CASA; REIS, 2003). Para esses autores, as doenças são importantes pela frequência que ocorrem e pelos danos que causam à germinação de sementes, à emergência e estabelecimento de plântulas, às podridões radiculares e de colmo, às podridões de espiga e à sanidade foliar.

O impacto de 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.

Os efeitos de nutrientes no crescimento e produção são, usualmente, relacionados às suas funções no metabolismo, com vista à produtividade da cultura. Entretanto, a nutrição mineral pode, também, influenciar o crescimento e a produção de plantas de maneira secundária, pelas modificações na forma de crescimento, na morfologia, na anatomia e na sua composição química (COLHOUM, 1973). Ressalta-se que o equilíbrio nutricional do vegetal é considerado um dos principais fatores responsáveis pelos mecanismos de defesa em relação aos fatores bióticos (patógenos e insetos-pragas).

Os nutrientes podem conferir maior ou menor resistência às plantas (HUBER; WILHELM, 1988), além da estratégia de escape à doença, devido a sua ação no padrão de crescimento, na morfologia e anatomia e, particularmente, na composição química da planta. A mudança na anatomia, como o espessamento de células da epiderme, maior grau de lignificação e de silificação, aumenta a resistência do vegetal. Por sua vez, as alterações nas propriedades fisiológicas e bioquímicas, que resultam na produção de substâncias repelentes ou inibidoras – “fitoalexinas”, também conferem resistência às plantas (MARSCHNER, 1995). Segundo o autor, há poucas informações sobre o efeito da nutrição mineral nos mecanismos de defesa contra bactérias e vírus. No entanto, existem evidências da ação de nutrientes em relação às doenças, causadas principalmente por fungos.

Embora pouco reconhecido, o estado nutricional é um componente primário de controle de doenças (HUBER, 1994). A maioria dos nutrientes requeridos para o crescimento da planta pode, também, ser responsável pelo aumento ou redução da severidade de ataque de patógenos, e, sua interação com o hospedeiro e o ambiente determinará como a nutrição da planta exercerá influência sobre a doença.

Observa-se que o nitrogênio aumenta a severidade de determinadas doenças, enquanto o cobre e o manganês podem reduzi-la (ZAMBOLIM; VENTURA, 1996). Para os autores, o efeito da nutrição é marcante em plantas que apresentam determinado grau de tolerância ou resistência, enquanto que as plantas altamente resistentes ou suscetíveis, praticamente não são afetadas pelo estado nutricional.

Este experimento foi conduzido com os seguintes objetivos: (i) avaliar a produtividade de milho pela aplicação de nitrogênio, bem como de cobre e manganês foliar; (ii) estimar a incidência e severidade de doenças em razão de doses de nitrogênio e fontes de cobre e manganês e (iii) estabelecer prática de manejo, com base na aplicação desses micronutrientes, visando à redução no uso de defensivos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fenologia da planta

O milho é uma planta de ciclo variado, que evidencia desde cultivares extremamente precoces, cuja polinização pode ocorrer em 30 dias após a emergência, até àquelas que demoram 300 dias para serem polinizadas.

Nas condições brasileiras, o milho apresenta um ciclo variável de 110 dias a 180 dias, a partir do qual, os híbridos e cultivares são classificados como super-precoces, precoces, normais ou tardios, com base no período entre a emergência e o florescimento.

O ciclo do milho foi dividido em 11 estádios para facilitar o manejo e as pesquisas, bem como objetivar o estabelecimento de correlações entre elementos fisiológicos, climatológicos, fitogenéticos, entomológicos, fitopatológicos e fitotécnicos com o desempenho da planta.

Os estádios descritos a seguir foram adaptados de Hanway (1966) e de Nel e Smit (1978) por Fancelli (1986): (i) estágio 0 (semeadura à emergência); (ii) estágio 1 (planta com quatro folhas); (iii) estágio 2 (planta com oito folhas); (iv) estágio 3 (planta com 12 folhas); (v) estágio 4 (emissão do pendão); (vi) estágio 5 (florescimento e polinização); (vii) estágio 6 (grãos leitosos); (viii) estágio 7 (grãos pastosos); (ix) estágio 8 (início da formação de grãos); (x) estágio 9 (grãos duros); e, (xi) estágio 10 (grãos maduros).

2.2 Adubação nitrogenada de milho

O nitrogênio é um nutriente mineral que pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas como, ânion (NO_3^-) e cátion (NH_4^+).

A planta de milho utiliza, predominantemente, o íon amônio (NH_4^+) nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento, enquanto a forma nítrica (NO_3^-) é absorvida mais intensamente nos estádios finais do ciclo (WARNCKE; BARBER, 1973). Esse comportamento pode estar relacionado à demanda energética para a assimilação de N, que é muito superior quando o nitrogênio é absorvido na forma de nitrato, comparativamente à forma amoniacal.

Segundo Below (1995), independentemente da forma absorvida, o N é incorporado em numerosos compostos orgânicos essenciais à planta, cuja maioria (90%) está presente nas proteínas. Embora, o metabolismo do N em relação ao crescimento e rendimento da planta seja complexo, é possível resumí-lo em duas funções básicas, como: (i) manutenção da capacidade fotossintética, em particular, pela participação do N na molécula de clorofila e (ii) pelo estímulo ao crescimento e desenvolvimento de drenos reprodutivos.

No Brasil, faz-se a aplicação de nitrogênio na cultura de milho, tradicionalmente, de modo parcelado, com uma dose na semeadura que, geralmente, varia de 10 kg ha⁻¹ a 30 kg ha⁻¹, e o restante em cobertura nos estádios de seis folhas a oito folhas. O parcelamento reduz o excesso de sais no sulco de plantio e o risco de prejuízo à germinação; atenua a perda de nitrato por lixiviação (COELHO et al., 2003); estimula a formação de raízes alimentadoras (pêlos absorventes), bem como o crescimento da parte aérea; e, favorece a diferenciação dos primórdios da panícula e da espiga no estágio de quatro folhas, época em que a planta define o potencial de produção (FANCELLI, 1997).

O nitrogênio é o principal nutriente na cultura de milho, altamente limitante à produtividade de grãos (BALKO; RUSSEL, 1980). Ferreira et al. (1996) observaram aumentos significativos na produção de milho em razão do incremento das doses de nitrogênio. Neptune et al. (1982) obtiveram resultados semelhantes quando verificaram aumentos médios, da ordem de três a sete vezes, na produtividade de milho do Estado de São Paulo (1.200 kg ha⁻¹), pela aplicação de doses crescentes desse nutriente (N).

O aumento do rendimento proporcionado pelo nitrogênio, também pode ser atribuído aos efeitos que promovem o crescimento radicular, o aumento do comprimento da espiga, o número de espigas por planta, bem como o número de grãos por espiga (BALKO; RUSSEL, 1980).

De acordo com Yamada (1997), o nitrogênio e o potássio são os nutrientes absorvidos em maiores quantidades pelo milho, aproximadamente, 190 kg ha⁻¹ de N e 230 kg ha⁻¹ de K₂O. Observa-se a obtenção de rendimentos da ordem de 9.500 kg ha⁻¹ a partir do fornecimento de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura, complementados com a adição de 80 kg ha⁻¹ a 100 kg ha⁻¹ em cobertura, no estágio V4.

De maneira geral, recomenda-se a aplicação de 30 kg ha⁻¹ a 50 kg ha⁻¹ de N no plantio (FANCELLI; DOURADO NETTO, 1996; YAMADA; ABDALLA, 2000), e o restante em cobertura, num total de, aproximadamente, 120 kg ha⁻¹ a 150 kg ha⁻¹. Duarte (2003) verificou em seu trabalho, diferenças entre as cultivares em relação à resposta à aplicação de nitrogênio em cobertura, assim como variação no padrão de exigência de N nos estádios iniciais de crescimento, bem como a ausência de resposta à aplicação de N (plantio e cobertura) para dose superior a 120 kg ha⁻¹.

2.3 Nutrição mineral e resistência às doenças

As plantas podem servir de hospedeiras para inúmeros microrganismos entre os quais, há aqueles que vivem como parasitas e causam doenças infecciosas. Em função da presença desses patógenos, representados na maioria das vezes por fungos, bactérias e vírus, as plantas podem alterar seu hábito de crescimento e produtividade, provocando, em muitos casos, a morte do vegetal.

Para o patógeno infectar a planta é necessário que ele penetre e colonize os tecidos do hospedeiro, de onde retira os nutrientes para sua sobrevivência, depois de neutralizar as reações de defesa própria do vegetal. Nesse processo, utiliza principalmente, substâncias enzimáticas, toxinas e hormônios.

Do exposto, os vegetais apresentam vários mecanismos de resistência e ou tolerância a doenças e pragas, entre os quais, o equilíbrio nutricional (carência ou excesso), o estágio fenológico do hospedeiro, as condições do ambiente e as características genéticas do vegetal são fundamentais.

Choboussou (1999) relatou que o equilíbrio nutricional pode ser considerado um dos principais fatores responsáveis pelo desencadeamento de mecanismos de defesa dos vegetais. No entanto, são poucos os trabalhos feitos nessa área do conhecimento agrônomo, com a finalidade de correlacionar os efeitos de nutrientes com a incidência de doenças.

Os elementos minerais estão envolvidos em todos os mecanismos de defesa do vegetal, sejam como componentes integrais ou ativadores, inibidores ou reguladores do metabolismo. Portanto, o conhecimento da fonte e função dos elementos minerais nas

plantas é fundamental, para depois avaliar o seu papel na resistência a determinado patógeno (ZAMBOLIM; VENTURA, 1996).

2.3.1 Efeito do nitrogênio sobre doenças de plantas

O nitrogênio promove um crescimento vigoroso dos vegetais e por isso, dependendo da dose e da época de sua aplicação, pode retardar a fase de maturação. Esse nutriente participa da constituição de aminoácidos e proteínas, além de atuar na formação de reguladores de crescimento, fitoalexinas e fenóis. As plantas adubadas com doses elevadas de N aumentam a quantidade de tecidos jovens e suculentos, ampliam o estágio vegetativo e retarda a fase de maturação, o que favorece o ataque de patógenos. De maneira inversa, quando o vegetal é submetido à deficiência de nitrogênio, torna-se debilitado e o seu crescimento é lento, fato que também aumenta sua suscetibilidade aos patógenos (ZAMBOLIM; VENTURA, 1996).

Nas plantas com elevado suprimento de N a demanda por carboidrato (CH_2O), formados por meio do processo fotossintético, aumenta em razão da energia necessária para a assimilação do nutriente, proveniente da respiração desse composto (açúcar). Além do consumo para a produção de energia, o carboidrato é requerido na forma de cadeia carbônica, visando a sua incorporação (N) em compostos orgânicos como aminoácido (R-COONH_2). Essas demandas de carboidrato (massa e energia) competem com o metabolismo secundário, prejudicando a síntese de substâncias da via do ácido chiquímico, no qual participam também os micronutrientes cobre e manganês. Em condições de deficiência de N ocorre o oposto, pois há uma diminuição na formação de substâncias fenólicas e alcalóides, cujas quantidades dependem de substrato formado pela fotossíntese (CH_2O), que diminui sensivelmente, em plantas deficientes nesse nutriente (N).

Marschner (1995) relata que as concentrações elevadas de nitrogênio reduzem a produção de compostos fenólicos (fungistáticos) e a lignificação das folhas, diminuindo a resistência aos patógenos obrigatórios, não apresentando, no entanto, ação sobre aqueles que são facultativos. O nitrogênio aumenta também, a concentração de aminoácidos e de amidas no apoplasto e nas células do mesofilo foliar, substâncias que, aparentemente, têm maior influência que os açúcares na germinação e no

desenvolvimento de conídios, fato que favorece a infecção pelas doenças fúngicas. Ressalta-se que, a forma do nitrogênio (amônio ou nitrato) disponível no solo aos vegetais afeta a infecção por doenças, de maneira mais intensa do que, propriamente, a quantidade aplicada do nutriente (AGRIOS, 1980).

De maneira geral, os danos causados por patógenos do gênero *Fusarium*, *Rizoctonia* e *Aphanomyces* podem ser atenuados pela elevação do pH rizosférico, em razão da maior absorção de nitrato (HUBER; WATSON, 1974). De forma semelhante, os danos causados pelas doenças provocadas por *Gaeumannomyces*, *Diplodia*, *Phythium* e *Streptomyces* são favorecidos pela absorção de amônio, devido ao aumento da acidificação da referida zona radicular. Do exposto, verifica-se que há variação na ocorrência de doenças em razão do pH do solo, principalmente, naquelas localizadas próximas das raízes (rizosfera).

Ranney (1962) concluiu que a utilização de doses elevadas de nitrogênio na forma de nitrato de amônio aumentou a severidade de *Verticillium albo-atrum*, enquanto que o emprego de sulfato de amônio promoveu a proliferação de *Colletotrichum gossypii*, ambos na cultura de algodão. A mudança quanto à natureza da doença pode ser uma consequência da alteração no pH rizosférico, que varia com a forma química do nitrogênio presente na fonte desse nutriente.

Na cultura de milho, Fantin et al. (1991) avaliaram a influência de doses de nitrogênio sobre a ocorrência e severidade da pinta branca (*Phaeospharia maydis*) inoculada, no início do florescimento, por meio da pulverização de uma suspensão com 2×10^6 conídios m^{-1} . Os autores concluíram que o uso de doses crescentes de nitrogênio, a partir de 100 kg ha^{-1} , aumentaram a incidência dessa doença. Fancelli (1996) também observou que a severidade de *Phaeosphaeria maydis* é afetada pela época de aplicação de nitrogênio e aumenta quando a mesma é realizada após a emissão da 12ª folha. Essa constatação foi corroborada por Costa (2001), quando verificou que a severidade da pinta branca do milho depende de vários fatores, como a época de semeadura, a dose e época da adubação nitrogenada e das características do genótipo. A combinação entre genótipos suscetíveis e clima favorável, proporcionou variações de 38 % e 73 % na área foliar lesionada com a aplicação de 0 a 240 kg ha^{-1} de N, nessa ordem.

2.3.2 Efeito do cobre sobre doenças de plantas

A concentração de cobre nas folhas e brotações influencia a atividade da peroxidase e da catalase, que são reduzidas sob alto teor de cobre, resultando no acúmulo de peróxidos, substância altamente bactericida, formada com o aumento da respiração em tecidos infectados (ZAMBOLIM; VENTURA, 1996). Os referidos autores observaram que as folhas de macieira resistentes à *Erwinia amylovora* apresentaram um conteúdo superior desse nutriente. A resistência da batateira a requeima por *Phytophthora infestans* seria atribuída ao aumento da atividade da peroxidase, proporcionada pela aplicação de cobre nas folhas da planta (ZAMBOLIM; VENTURA, 1996).

O efeito deste micronutriente sobre o patógeno pode ser direto (GRAHAM; WEBB, 1993), haja vista que a quantidade de cobre requerida pelos microrganismos é baixa, comparativamente aos teores demandados pelas plantas, além do que os microrganismos são pouco tolerantes ao excesso desse elemento (Cu). Um dos efeitos indiretos do cobre na resistência à infecção deve-se a sua participação na síntese de lignina, uma barreira parcial à sua penetração (GRAHAM; WEBB, 1993). Esse micronutriente está envolvido, também, na formação de compostos fenólicos pelas plantas, que servem como defesa natural aos herbívoros e patógenos, pois se tem observado que a saturação da célula com essa substância impede a penetração de organismos nos tecidos vegetais (GRAHAM; WEBB, 1991).

Vários estudos realizados sobre o assunto apresentaram resultados que comprovaram que os aumentos dos compostos fenólicos estão diretamente relacionados com a resistência à infecção e ou desinfestação. Entretanto, pouco se sabe sobre os níveis de fenóis durante os estádios fenológicos do milho, assim como em relação a sua influência no grau de sensibilidade da planta a infecção foliar.

2.3.3 Efeito do manganês sobre doenças de plantas

A presença do manganês no solo é extremamente complexa e envolve a interação química e microbiológica.

A transformação de Mn^{3+} ou óxido de Mn^{4+} insolúveis para Mn^{2+} solúvel depende de vários fatores do ambiente, como o pH do solo, a umidade, o teor de nutrientes, os inibidores da nitrificação, a matéria orgânica e a atividade microbiana (HUBER, 1988).

Há correlação entre o teor de manganês presente no tecido do hospedeiro (planta) e a severidade da infecção por doenças, havendo maiores quantidades desse elemento em tecidos saudáveis em relação à pequena concentração na planta doente ou suscetível (HUBER; WILHELM, 1988).

De acordo com Zambolim e Ventura (1996) a aplicação de manganês via foliar, tratamento de sementes ou adição no solo, pode auxiliar o controle de doenças. Para os autores, as práticas culturais como manutenção da acidez do solo, irrigação nos períodos de crescimento, inibição da nitrificação e uso de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) são condições que favorecem a solubilidade do manganês e, portanto, sua disponibilidade às plantas.

As concentrações de manganês nas plantas podem ser alteradas em função da presença de patógenos, cuja magnitude, no entanto, é influenciada pela cultivar e pelo órgão infectado (HUBER; WILHELM, 1988). Geralmente, os tecidos de plantas susceptíveis apresentam baixo teor de Mn, comparativamente às plantas resistentes. Nesse caso, verificou-se um aumento na concentração desse nutriente nas áreas localizadas próximas aos pontos de infecção.

A baixa concentração de Mn nos tecidos de plantas correlaciona-se com a susceptibilidade do vegetal à ação de patógenos (HUBER; WILHELM, 1988). Possivelmente, o efeito mais comum do Mn deve-se a modificação na capacidade de resistência, pela formação de exsudatos tóxicos (HUBER, 1988). Cabe mencionar, no entanto, que o manganês é necessário para a replicação do RNA viral, o que explicaria o aumento de doenças viróticas na presença deste micronutriente (HUBER; WILHELM, 1988).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi instalado em área do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, no município de Piracicaba, SP, cujas coordenadas geográficas são: 22° 42' 30" de latitude, 47° 30' 00" de longitude e 546 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen o clima local é do tipo CWA (mesotérmico tropical úmido), caracterizado por apresentar três meses secos (junho, julho e agosto) e chuvas concentradas no verão (janeiro a março).

O solo da área experimental é um NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico latossólico (NV_{ef}), textura muito argilosa e declividade média de 5 %. As análises químicas das amostras retiradas em três profundidades (0 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm) foram feitas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001), cujos resultados dos atributos químicos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resultados da análise química de solo para macronutrientes

Profund. cm	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	SB	T	V %	m
0 – 20	5,1	21	15	25	5,4	40	13	31	58,4	89	65	0
20 – 40	5,2	23	19	21	4,1	36	11	31	51,1	82	62	0
40 – 60	5,2	16	7	76	2,3	33	11	25	46,3	71	65	0

Tabela 2 – Resultados da análise química de solo para micronutrientes

Profund. cm	B	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Zn
0 – 20	0,60	5,0	29	36,2	2,1
20 – 40	0,21	5,5	30	36,1	2,3
40 – 60	0,51	2,7	13	14,1	0,6

3.2 Delineamento experimental

Para verificar os objetivos utilizou-se 12 tratamentos e quatro repetições, em blocos ao acaso, com dois fatoriais alocados dentro dos blocos. O primeiro fatorial (2 x 2) corresponde às doses de nitrogênio (100 e 200 kg ha⁻¹) e a aplicação de fungicida (com e sem fungicida). O segundo fatorial (2 x 2 x 2) foi obtido por duas doses de nitrogênio (100 e 200 kg ha⁻¹), duas fontes de cobre (sulfato de cobre e hidróxido de cobre) e duas fontes de manganês (sulfato de manganês e manganês quelatizado), cuja descrição dos tratamentos está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento

Tratamentos	Dose de N	Aplicação fungicida	Fonte de cobre e manganês
1	100 kg ha ⁻¹	sem fungicida	-
2	100 kg ha ⁻¹	com fungicida	-
3	200 kg ha ⁻¹	sem fungicida	-
4	200 kg ha ⁻¹	com fungicida	-
5	100 kg ha ⁻¹	-	sulfato Cu + sulfato Mn
6	100 kg ha ⁻¹	-	sulfato Cu + Mn quelatizado
7	100 kg ha ⁻¹	-	hidróxido Cu + sulfato Mn
8	100 kg ha ⁻¹	-	hidróxido Cu + Mn quelatizado
9	200 kg ha ⁻¹	-	sulfato Cu + sulfato Mn
10	200 kg ha ⁻¹	-	sulfato Cu + Mn quelatizado
11	200 kg ha ⁻¹	-	hidróxido Cu + sulfato Mn
12	200 kg ha ⁻¹	-	hidróxido Cu + Mn quelatizado

A análise estatística dos dados experimentais foi realizada utilizando-se o programa SOC desenvolvido pela EMBRAPA (1997), considerando-se os contrastes entre os tratamentos descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Contrastes entre os tratamentos avaliados estatisticamente

Contrastes	Descrição dos contrastes
1	100 kg ha ⁻¹ N x 200 kg ha ⁻¹ N
2	100 kg ha ⁻¹ N, sem fungic. x 100 kg ha ⁻¹ N, com fung. e micron. Cu e Mn
3	100 kg ha ⁻¹ N, com fungicida x 100 kg ha ⁻¹ N e micronutriente Cu e Mn
4	100 kg ha ⁻¹ N e sulfato Cu x 100 kg ha ⁻¹ N e hidróxido de Cu
5	100 kg ha ⁻¹ N, sulf. Cu e sulf. Mn x 100 kg ha ⁻¹ N, sulf. Cu e Mn quelat.
6	100 kg ha ⁻¹ N, hidr. Cu e sulf. Mn x 100 kg ha ⁻¹ N, hidr. Cu e Mn quelat.
7	200 kg ha ⁻¹ N, sem fung. x 200 kg ha ⁻¹ N, com fungic. e micron. Cu e Mn
8	200 kg ha ⁻¹ N, com fung. x 200 kg ha ⁻¹ N e micronutrientes Cu e Mn
9	200 kg ha ⁻¹ N e sulfato Cu x 200 kg ha ⁻¹ N e hidróxido de Cu
10	200 kg ha ⁻¹ N, sulf. Cu e sulf. Mn x 200 kg ha ⁻¹ N, sulf. Cu e Mn quelatiz.
11	200 kg ha ⁻¹ N, hidr. Cu e sulf. Mn x 200 kg ha ⁻¹ N, hidr. Cu e Mn quelatiz.

3.3 Experimento de campo e parcela experimental

Para a implantação do experimento efetuou-se o preparo de solo com gradeação a 20 cm de profundidade, seguida de duas gradeações superficiais.

O plantio foi realizado em sulcos abertos, com implemento manual, espaçados de 0,70 m entre linhas, nos quais foram distribuídas as sementes.

A adubação de milho foi feita no sulco de plantio, fornecendo-se 400 kg ha⁻¹ da fórmula 10-20-10, equivalente à aplicação de 40 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹ e 40 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

O híbrido de milho escolhido foi P30F33 (Pionner Sementes), com a semeadura efetuada manualmente em 15/12/2004, visando uma população final de 70.000 plantas por hectare, após a adubação de plantio.

As parcelas experimentais constituíram-se de 4 linhas de milho com 0,70 m de espaçamento entre linhas e 5 m de comprimento, totalizando 14 m² por parcela. Para as avaliações desconsiderou as plantas da bordadura. Somente as duas linhas centrais de cada parcela foram utilizadas, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade (área de amostragem), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Representação da parcela experimental e da área de amostragem

A adubação de cobertura foi realizada com a aplicação de uréia quando a cultura apresentava três folhas expandidas (estádio V3). Nos tratamentos em que as plantas receberam 100 kg ha^{-1} e 200 kg ha^{-1} houve complemento de nitrogênio em cobertura (60 e 160 kg ha^{-1}), uma vez que antes do plantio aplicou-se 40 kg ha^{-1} de N no sulco de semeadura.

3.4 Aplicações foliares de fungicida e micronutrientes

As aplicações foliares de micronutrientes e fungicida foram realizadas com um pulverizador de barra de 1,4 m de largura, acoplado a um cilindro de CO_2 , quando as plantas apresentavam cinco folhas expandidas (estádio V5).

A aplicação de fungicida foi feita a partir da mistura de estrobilurina (pyraclostrobin) e triazol (epoxiconazole), comercializada como Opera, aplicando-se uma dose equivalente a $0,75 \text{ litros ha}^{-1}$ do produto comercial.

Nas aplicações foliares de micronutrientes forneceu-se 60 g ha^{-1} de cobre (Cu) e 300 g ha^{-1} de manganês (Mn), cujas fontes foram o sulfato de cobre (25 % Cu),

hidróxido de cobre (42,3 % Cu), sulfato de manganês (31 % Mn) e manganês quelatizado (11% Mn). As pulverizações foliares foram feitas usando um volume correspondente a 300 L ha⁻¹.

3.5 Variáveis avaliadas

3.5.1 Altura de plantas (AP, m)

A determinação de altura de plantas foi feita no florescimento, em cinco plantas por parcela, utilizando uma régua graduada, em que a medida foi feita do nível do solo até o ponto de inserção da última folha.

3.5.2 Diâmetro de colmo (DC, cm)

Na determinação do diâmetro de colmo adotaram-se as mesmas cinco plantas por parcela, utilizadas anteriormente para as medidas de altura, com um paquímetro para medir essa variável (diâmetro de colmo), a uma altura aproximada de 10 cm do nível do solo.

3.5.3 Índice de área foliar (IAF, cm² cm⁻²)

O índice de área foliar (m² m⁻²) foi calculado a partir das medidas de área foliar total (AFT) de duas plantas por parcela, conforme a expressão 1:

$$IAF_j = \frac{AFT_j}{e_1 \times e_2} \quad (1)$$

em que, e_1 e e_2 referem-se ao espaçamento entre plantas na linha de plantio (cm) e entre as linhas de plantio (cm), respectivamente; AFT (cm²) corresponde à área foliar total fotossinteticamente ativa. Realizou-se a determinação da área foliar por um medidor digital marca LICOR modelo LI – 3100, em que a medida da área foliar foi obtida pela interceptação da luz pela folha.

3.5.4 Matéria seca total (MST, g)

Depois da determinação da AFT, as partes das plantas como folhas, colmos e espigas foram secas em estufa com circulação de ar a 70° C durante 48 h. A matéria

seca de cada parte foi obtida com uma balança digital, após o resfriamento das amostras. A matéria seca total (MST, g) foi constituída pelo somatório das massas individuais de folhas, colmos e espigas.

3.5.5 Incidência de doenças foliares

A incidência de doenças foliares de plantas (IP) foi estimada por avaliação visual em cinco plantas aleatoriamente, realizada 30 dias após o florescimento. Para essa medida adotou-se uma escala diagramática de notas graduadas de 1 (0 % de área foliar lesionada) até 9 (100 % de área foliar lesionada) atribuídas por três avaliadores com a finalidade de diminuir a subjetividade das avaliações.

3.5.6 Estado nutricional da planta

Avaliou-se o estado nutricional das plantas pela análise química de amostras foliares coletadas no florescimento (Büll, 1993). De cada linha central da parcela coletou-se 10 folhas acima da espiga, totalizando 20 folhas por tratamento. As folhas foram lavadas com água destilada, retirando-se a nervura central e os terços inferiores e superiores das mesmas. Utilizou-se o terço médio das folhas após a secagem em estufa com circulação de ar a 70° C durante 48 h. Depois de resfriadas, as amostras foram moídas e submetidas à análise para a determinação de macro e micronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

3.5.7 Teor de fenóis totais (FT, %)

Por ocasião do florescimento coletou-se cinco folhas diagnósticas por tratamento (acima da espiga) para a análise química do teor de fenóis totais (FT, %), com a finalidade de relacionar a ocorrência de doença com o estado nutricional (N, Cu e Mn) e a concentração de fenóis totais na folha. Para a determinação de fenóis totais adicionou-se 50 µl de extrato de folhas em tubos de ensaio contendo 450 µl de água destilada, 250 µl do reagente Folin Ciocalteu (1 N) diluído (1:1) e 1,25 ml de carbonato de sódio (20 %). Os tubos de ensaio com o extrato para a análise foram agitados e após 40 minutos efetuou-se as leituras em espectrofotômetro, medindo-se a absorbância a 725 nm.

3.5.8 Comprimento de espiga (CE, cm)

O comprimento de espiga foi medido em dez espigas por parcela, em amostras aleatórias, pelo uso de régua graduada de 30 cm. Esse componente de produção foi avaliado em razão da sua influência no rendimento de grãos.

3.5.9 Número de fileiras de grãos (NF) e grãos por fileira (GF)

A determinação do número de fileiras de grãos (NF) e grãos por fileira (GF) foi efetuada em cinco espigas de cada parcela, amostradas aleatoriamente. Da mesma maneira que o comprimento de espiga, esses componentes de produção foram medidos porque influenciam no rendimento de grãos.

3.5.10 Rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹)

O rendimento de grãos foi obtido após a colheita das espigas de todas as plantas da área de amostragem de cada parcela. Posteriormente, realizou-se a debulha manual e a determinação da matéria fresca de grãos. Depois da secagem dos grãos em estufa a 105° C, de acordo com metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), efetuou-se a correção do grau de umidade para 130 g kg⁻¹ (13 %), visando à comparação das médias dos tratamentos na mesma base, quanto ao teor de água, conforme a expressão (2).

$$M13 = [MU \times (1 - \% U/100)/0,87] \quad (2)$$

em que, M13 corresponde a massa de grãos (g) corrigida para o mesmo teor de água 130 g kg⁻¹ (13 %), MU consiste na massa de grãos úmida (g) e U é a umidade da massa de grãos de cada parcela (%).

3.5.11 Massa de 100 grãos (M100, g)

A massa de 100 grãos foi obtida em sete amostras por parcela, depois da correção para um mesmo teor de água 130 g kg⁻¹ (13 %), conforme procedimento descrito anteriormente (item 3.5.10).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Contrastes entre tratamentos das variáveis em pré-colheita

Os resultados médios de altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), índice de doença de planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g) para os contrastes 1 a 11 estão apresentados nas Tabelas 5 a 15 (variáveis em pré-colheita). Ressalta-se que a única doença foliar verificada nas plantas de milho foi a ferrugem tropical (*Physopella zeae*).

A comparação das médias das variáveis do contraste 1 (100 kg ha⁻¹ N x 200 kg ha⁻¹ N) evidencia diferença estatística para a infecção de plantas (IP) e índice de área foliar (IAF). O fornecimento de 200 kg ha⁻¹ de N contribui para o aumento de infecção por ferrugem tropical (*Physopella zeae*) (IP: 3,05) em relação à adição de 100 kg ha⁻¹ (IP: 2,72). Essa constatação corrobora os resultados obtidos por Durães et al. (2004) que verificaram o efeito da adubação nitrogenada na infecção de milho por *Phaeosphaeria maydis*, bem como por outros autores (RANNEY, 1962; ZAMBOLIM E VENTURA, 1996; FANTIN et al., 1999).

Tabela 5 – Médias do contraste 1 (100 kg ha⁻¹ N x 200 kg ha⁻¹ N) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção de planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
1	ns	ns	*	*	ns
100 kg ha ⁻¹ N	2,60	2,25	2,72	4,68	82,00
200 kg ha ⁻¹ N	2,60	2,29	3,05	5,03	78,83
CV	2,45	4,84	18,39	9,13	13,35

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

O aumento da dose de N eleva o consumo de energia durante o processo de assimilação, em razão da maior demanda por carboidrato. Esse substrato (CH₂O) é usado na formação de energia via respiração, assim como há elevação na demanda por massa, pois parte desse açúcar é utilizada na incorporação do N em substâncias

orgânicas ($R\text{-COONH}_2$). Assim, a assimilação de maiores doses de N, nas mesmas condições, pode implicar por algum tempo, quantidades elevadas de substâncias de baixo peso molecular, e assim favorecer o desenvolvimento de doenças fúngicas (MARSCHNER, 1995).

Doses baixas de N como $42,5 \text{ kg ha}^{-1}$ e 80 kg ha^{-1} não afeta o equilíbrio nutricional e a severidade por *Phaeosphaeria maydis*, comprovado pelos dados de Pegoraro et al. (2001), segundo os quais não ocorreu infecção em plantas de milho pelo uso dessas quantidades, as quais são inferiores àquelas frequentemente aplicadas na cultura de milho ($120 \text{ a } 1250 \text{ kg ha}^{-1}$).

O IAF expressa a área foliar da planta em relação à área de solo ocupada pela mesma, o qual pode modifica com a população de plantas, o espaçamento, o número e tamanho das folhas e estado nutricional, em particular, pelo teor de N. Nesse experimento, não houve alterações nas variáveis que afetam o IAF, exceto na dose de 200 kg ha^{-1} de N, que elevou o teor foliar para $35,9 \text{ g kg}^{-1}$ em relação à aplicação de 100 kg ha^{-1} ($30,7 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 16). O aumento de IAF deve-se ao maior número de folhas fotossinteticamente ativas, propiciado pela ampliação da duração foliar, pois não variou o número total de folhas de plantas.

A ausência de resposta à aplicação de alta dose de N em relação à altura de plantas (AP), diâmetro do colmo (DC) e matéria seca total (MST), evidencia que há semelhança entre os processos fotossintéticos e respiração vegetal. Nessas condições, mesmo sem quantificar o saldo de carboidrato (96 % da composição da planta), não houve variação na quantidade desses açúcares, como pode ser inferido pela semelhança na produção de MST. Essa afirmação tem como base a ausência de resposta ao aumento da dose de N em relação à altura de planta (AP) e diâmetro de colmo (DC), as quais afetam substancialmente a MST (Tabela 5). Ressalta-se que as plantas, no presente experimento, foram conduzidas em solo sem deficiências de nutrientes (Tabelas 1 e 2) e sem estresse hídrico, devido ao uso de irrigação por pivô central.

Pelos resultados apresentados na Tabela 6 (contraste 2: 100 kg ha^{-1} N, sem fungicida x 100 kg ha^{-1} N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) observa-se diferença estatística para a altura de plantas (AP), mesmo sem a aplicação de fungicida

(AP: 2,62 m), comparativamente às plantas que além de N (100 kg ha^{-1}) aplicaram-se fungicida (Opera) junto com cobre e manganês (AP: 2,59 m). Do ponto de vista nutricional não há uma explicação plausível para a menor altura de plantas não pulverizadas com fungicida, uma vez que os teores de nutrientes são iguais (Tabela 16) e, tampouco, em relação ao saldo de carboidratos, pois as condições edáficas, climáticas e características do híbrido de milho foram semelhantes.

Tabela 6 – Médias do contraste 2 (100 kg ha^{-1} N, sem fungicida x 100 kg ha^{-1} N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
2	*	ns	ns	ns	ns
N-100 + s/fungicida	2,62	2,28	2,93	4,70	89,41
N-100 + c/fung.+Cu e Mn	2,59	2,24	2,68	4,67	80,52
CV (%)	2,35	4,73	17,17	9,52	13,04

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

A partir dos resultados do contraste 2 conclui-se que não houve influência pelo uso de fungicida (IP: 2,68) em relação a sua ausência (IP: 2,93). Portanto, as doses de N adotadas nesse experimento não provocaram desequilíbrio nutricional, como demonstra o baixo nível de infecção por (*Physopella zeae*), independentemente da dose de N. A aplicação conjunta de fungicida e micronutrientes (Cu e Mn) não afetaram os resultados das avaliações, provavelmente devido à pequena infecção pela ferrugem tropical e pelas condições adequadas do estado nutricional das plantas (Tabelas 16 e 17).

As médias obtidas no contraste 3 (100 kg ha^{-1} N e fungicida x 100 kg ha^{-1} N e micronutrientes Cu e Mn) comprovam que as plantas que receberam esses nutrientes (Cu e Mn) nas folhas apresentaram elevada infecção pela doença (IP: 2,88), comparadas àquelas em que foi pulverizado o fungicida (IP: 1,85). Do exposto, o uso exclusivo desses micronutrientes (Cu e Mn) não é suficiente para o controle da doença

(*Physopella zeae*). Essa constatação deve-se, provavelmente, a pequena dose aplicada de cobre (60 g ha^{-1}), bem como pela presença de teores elevados desses nutrientes no solo (Cu: $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ e Mn: $36,2 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 2), cujo limite para resposta à aplicação é igual a $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (Cu) e $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Mn) (Raij et al., 1996). Se tais nutrientes desencadeiam mecanismos que produzem substâncias protetoras pela planta, o mesmo não ocorreu como indica o estado nutricional (Cu: $11,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e (Mn: $32,6 \text{ mg kg}^{-1}$) das plantas não diferiu daquelas pulverizadas com fungicida (Cu: $10,6 \text{ mg kg}^{-1}$ e Mn: $35,3 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 16).

Tabela 7 – Médias do contraste 3 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com fungicida x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
3	ns	ns	*	ns	ns
N-100, com fungicida	2,59	2,23	1,85	4,63	79,10
N-100, com micr. Cu+Mn	2,59	2,25	2,88	4,68	80,88
CV (%)	2,54	4,85	10,25	9,11	13,62

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

De acordo com as médias do contraste 4 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ e sulfato de Cu x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ e hidróxido de Cu) a aplicação de sulfato de cobre foi mais eficiente (IP: 2,68) na supressão da infecção da planta do que o hidróxido de cobre (IP: 3,09). Tal fato pode ser explicado pela presença de maior quantidade de cobre solúvel (sulfato > hidróxido) na cutícula foliar, com ação direta do cobre sobre o patógeno em razão da baixa quantidade requerida pelos microrganismos, comparativamente às plantas (GRAHAM; WEBB, 1993). Esta afirmação pode ser corroborada pelas conclusões de Chamel e Gambonnet (1982) que verificaram em folhas lavadas com água destilada, para fins de análise foliar, a presença de 60 % do cobre aplicado retido na cutícula, enquanto que 100 % do Mn são eliminados por esse procedimento.

Tabela 8 – Médias do contraste 4 (100 kg ha⁻¹ N e sulfato de Cu x 100 kg ha⁻¹ N e Hidróxido de Cu) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
4	ns	ns	*	ns	ns
N-100, sulfato Cu	2,58	2,21	2,68	4,75	78,16
N-100, hidróxido Cu	2,60	2,28	3,09	4,62	83,59
CV (%)	2,81	4,72	7,56	8,73	10,34

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

A presença de cobre na superfície da folha inibiu a infecção pela doença (*Physopella zeae*), pois não houve variação na concentração desse nutriente nas folhas (Tabela 16, sulfato de Cu: 11,2 mg kg⁻¹ e hidróxido de cobre: 11,5 mg kg⁻¹).

As médias obtidas no contraste 5 (100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e sulfato Mn x 100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e quelato de Mn), apresentadas na Tabela 9, indicam que não houve diferença entre os tratamentos. Portanto, a aplicação de cobre e manganês na forma de sulfato foi equivalente à aplicação simultânea de sulfato de cobre e manganês quelatizado, pois não há diferença nos teores foliares (Cu e Mn), havendo equivalência entre as fontes em relação à nutrição de plantas (Tabela 16).

Tabela 9 – Médias do contraste 5 (100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e sulfato Mn x 100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e quelato Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
5	ns	ns	ns	ns	ns
N-100, sulf. Cu e sulf. Mn	2,58	2,25	2,70	4,82	83,40
N-100, sulf. Cu e quelato Mn	2,58	2,18	2,65	4,68	72,93
CV	2,61	5,29	8,5	8,43	8,88

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Para o contraste 6 (100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e sulfato manganês x 100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e manganês quelatizado) verificou-se semelhança entre as fontes de micronutrientes. Pois, o teor foliar de Mn pelo uso de sulfato (30,7 mg kg⁻¹) foi semelhante à aplicação de Mn quelatizado (30,9 mg kg⁻¹), comprovando que não há diferença entre as fontes (Tabela 16).

Tabela 10 – Médias do contraste 6 (100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e sulfato Mn x 100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e quelato Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
6	ns	ns	ns	ns	ns
N-100, hidrox. Cu e sulfato Mn	2,63	2,28	3,20	4,69	81,12
N-100, hidrox. Cu e quelato Mn	2,58	2,28	2,98	4,55	86,07
CV (%)	3,23	4,66	6,58	9,36	11,70

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

As médias dessas variáveis no contraste 7 (200 kg ha⁻¹ N, sem fungicida x 200 kg ha⁻¹ N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn), não diferiram entre os tratamentos. A falta de resposta à aplicação de fungicida, mesmo com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ N pode ser explicada pela baixa infecção da ferrugem tropical (*Physopella zea*) (Tabela 11).

As médias das variáveis do contraste 8 (200 kg ha⁻¹, com fungicida x 200 kg ha⁻¹ N e micronutrientes Cu e Mn) não diferiram significativamente (Tabela 12). A comparação dos dados do contraste 8 com os obtidos no contraste 3 (100 kg ha⁻¹ N, com fungicida x 100 kg ha⁻¹ N e micronutrientes Cu e Mn) demonstra que a dose de 200 kg ha⁻¹ N, mesmo com aplicação de fungicida, elevou a infecção (IP: 3,01) em relação àquele verificado no contraste 3 (IP: 1,85). Entretanto, os níveis de infecção não prejudicaram o crescimento do milho (altura de plantas, diâmetro do colmo e matéria seca total).

Tabela 11 – Médias do contraste 7 (200 kg ha⁻¹ N, sem fungicida x 200 kg ha⁻¹ N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
7	ns	ns	ns	ns	ns
N-200, sem fungicida	2,64	2,32	3,28	5,19	82,86
N-200, com fung. e micr. Cu e Mn	2,59	2,29	3,01	5,00	78,03
CV (%)	2,49	5,09	19,4	8,83	13,78

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Para as médias do contraste 9 (200 kg ha⁻¹ N e sulfato Cu x 200 kg ha⁻¹ N e hidróxido Cu) foi constatada diferença apenas para a infecção de planta (IP), em que na presença da aplicação de sulfato de cobre a infecção foi igual a 3,04 (IP), portanto, inferior àquela verificada nas plantas pulverizadas com hidróxido de cobre (IP: 3,51).

Tabela 12 – Médias do contraste 8 (200 kg ha⁻¹ N, com fungicida x 200 kg ha⁻¹ N e micronutrientes Cu e Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
8	ns	ns	ns	ns	ns
N-200, com fungicida	2,59	2,29	3,01	5,00	78,03
N-200, com micron. Cu e Mn	2,64	2,32	3,28	5,19	82,86
CV (%)	2,49	5,09	19,4	8,83	13,78

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Com base nos resultados do contraste 9 pode-se afirmar que o sulfato de cobre foi mais eficiente na supressão da infecção pelo fungo da ferrugem tropical (*Physopella zae*). Essa observação está relacionada com a maior solubilidade dessa fonte,

favorecendo a penetração no fungo. Ressalta-se que no contraste 4 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) o sulfato de cobre também foi mais eficiente que a forma de hidróxido (Tabela 8). O acúmulo de cobre atua como barreira física e, por hipótese, pela ação direta sobre o fungo como explicado anteriormente. Esta afirmação fundamenta-se na semelhança entre os teores de cobre foliar (sulfato Cu: $13,0 \text{ mg kg}^{-1}$ e hidróxido Cu: $12,9 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 17), descartando a sua influência no metabolismo de defesa da planta.

Tabela 13 – Médias do contraste 9 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, hidróxido Cu) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
9	ns	ns	*	ns	ns
N-200, sulfato Cu	2,57	2,25	3,04	4,89	78,01
N-200, hidróxido Cu	2,59	2,28	3,51	5,05	78,83
CV (%)	2,81	4,74	6,26	9,07	14,27

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Os resultados das médias das variáveis do contraste 10 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato cobre e sulfato de manganês x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato cobre e manganês quelatizado), apresentados na Tabela 14, evidenciaram significância estatística para a infecção de plantas (IP).

Tabela 14 – Médias do contraste 10 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu e sulfato Mn x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sulfato Cu e quelato Mn) para a altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
10	ns	ns	*	ns	ns
N-200, sulf. Cu e sulf. Mn	2,55	2,24	2,88	4,80	74,88
N-200, sulf. Cu e quel. Mn	2,59	2,27	3,20	4,98	81,14
CV	3,51	5,31	3,98	10,50	15,89

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Diferentemente do que foi constatado para o mesmo contraste, quando foi aplicado 100 kg ha⁻¹ de N (contraste 5, Tabela 9), a adubação com 200 kg ha⁻¹ de N combinada com a pulverização da mistura de cobre e manganês, ambos na forma de sulfato, apresentou melhores resultados no controle da infecção por *Physopella zeae* (IP: 2,88), comparativamente ao uso de sulfato de cobre aplicado junto com manganês quelatizado (IP: 3,20). Portanto, a ação desses nutrientes (Cu e Mn) deve-se, possivelmente, a presença de cobre na cutícula foliar, pois não variou a sua concentração nas folhas (Tabela 17).

Para o contraste 11 (200 kg ha⁻¹ de N, hidróxido Cu e sulfato Mn x 200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e quelato Mn) não houve diferença entre as médias das variáveis em pré-colheita, o que demonstra que as fontes de cobre apresentaram eficiência semelhante tanto na supressão da doença como para o estado nutricional. Essa observação também é válida para a aplicação de sulfato de manganês e manganês quelatizado, aplicado juntamente com hidróxido de cobre (Tabela 15), pois o teor foliar desses nutrientes na folha diagnóstica não variou em razão das fontes desses nutrientes (Cu e Mn) (Tabela 17).

Tabela 15 – Médias do contraste 11 (200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e sulfato Mn x 200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e quelato Mn) para altura de plantas (AP, m), diâmetro de colmo (DC, cm), infecção da planta (IP), índice de área foliar (IAF) e matéria seca total (MST, g)

Contraste	AP	DC	IP	IAF	MST
11	ns	ns	ns	ns	ns
N-200, hidrox. Cu e sulf. Mn	2,59	2,32	3,43	5,24	79,00
N-200, hidrox. Cu e quelatizado Mn	2,59	2,23	3,60	4,86	78,66
CV (%)	2,31	4,33	5,54	6,91	13,44

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

4.2 Avaliação do teor de fenóis totais

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 16 e 17 não se constatou diferenças significativas para os teores de fenóis totais (FT, %) em todos os

contrastes avaliados. Com o fornecimento de 200 kg ha⁻¹ de N esperava-se um aumento na quantidade de compostos fenólicos em relação às plantas adubadas com 100 kg ha⁻¹ (Tabela 16). Não se verificou variação nos teores de nutrientes que indique uma interferência no metabolismo vegetal e, conseqüentemente, na formação dessas substâncias protetoras.

A função dos compostos fenólicos está associada com a defesa do vegetal, que consiste num mecanismo de resistência bioquímico pré-formado pela planta (PASCHOLATI; LEITE, 1994). Do exposto, são as ações de agentes bióticos que ativam a produção desses compostos pela planta. Portanto, considerando o baixo nível de infecção pela ferrugem tropical (*Physopella zaeae*) admite-se que a resposta do milho foi proporcional, o que justifica a ausência de variação no teor de fenóis totais, o qual foi da ordem de 2 %.

O teor de fenóis totais (FT, %) não foi influenciado pela dose de nitrogênio, bem como pelos micronutrientes fornecidos via foliar (Cu e Mn), em razão do estado nutricional adequado, em particular, quanto ao potássio. Os teores, média de todos os contrastes (Tabela 16: 27,0 g kg⁻¹ e Tabela 17: 26,8 g kg⁻¹), foram superiores ao nível crítico de K na planta (17,5 g kg⁻¹) segundo Büll (1993). Zago e Amorim (1977) verificaram acúmulo de compostos fenólicos sob deficiência de potássio, tanto nas folhas adultas quanto nas folhas novas, demonstrado no trabalho realizado com a cultura do feijoeiro.

4.3 Avaliação do estado nutricional das plantas

As médias dos teores de fenóis totais, de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes (B, Cu, Mn e Zn) estão apresentadas na Tabela 16 (100 kg ha⁻¹ de N) e Tabela 17 (200 kg ha⁻¹ de N).

De acordo com Büll (1993), os teores críticos de nutrientes para a cultura de milho em relação aos macronutrientes são iguais a: N (27,5 g kg⁻¹); P (1,9 g kg⁻¹); K (17,5 g kg⁻¹); Ca (2,3 g kg⁻¹); Mg (1,5 g kg⁻¹); S (1,5 g kg⁻¹); enquanto para os micronutrientes são: B (15 mg kg⁻¹); Cu (6 mg kg⁻¹); Mn (42 mg kg⁻¹); e, Zn (15 mg kg⁻¹). Os resultados das análises químicas de macro e micronutrientes (Tabelas 16 e 17) são superiores aos teores considerados críticos, exceto para Mg, B e Mn. O teor desses

nutrientes (Mg, B e Mn) abaixo do nível crítico não foi suficiente para o aparecimento de deficiências nutricionais detectadas pela diagnose visual.

O fornecimento de 200 kg ha⁻¹ de N proporcionou os maiores teores foliares de N (35,9 g kg⁻¹); P (3,6 g kg⁻¹); S (1,8 g kg⁻¹); Cu (13,2 mg kg⁻¹); e, Mn (41,4 mg kg⁻¹). No entanto, a adubação com 100 kg ha⁻¹ de N combinado com o fornecimento de sulfato de Cu e Mn quelatizado (contraste 5, Tabela 9) também aumentou o teor de N foliar (32,1 g kg⁻¹).

Tabela 16 – Médias dos contrastes 1 a 6 para o teor de fenóis totais (FT, %), de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S (g kg⁻¹) e de micronutrientes B, Cu, Mn e Zn (mg kg⁻¹)

Contraste	FT	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
	%	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
100 kg ha ⁻¹	2,1	30,7b	3,3b	27,1	5,7	0,9	1,6b	8,1	11,3b	33,6b	37,9
200 kg ha ⁻¹	2,0	35,9a	3,6a	26,8	5,6	1,0	1,8a	7,1	13,2a	41,4a	36,9
CV (%)	13,2	8,6	7,5	5,2	9,6	12,8	13,3	40,8	9,4	14,4	24,6
100 kg ha ⁻¹ , s/fung.	2,1	32,8	3,3	27,2	5,7	0,9	1,5	5,6	11,4	35,7	35,2
100 kg ha ⁻¹ , c/fung.	2,1	30,3	3,3	27,1	5,7	1,0	1,6	8,6	11,2	33,1	38,4
CV (%)	12,9	9,6	9,5	5,0	10,6	14,6	14,4	41,3	11,6	14,5	34,1
100 kg ha ⁻¹ , c/fung.	2,1	30,8	3,6	28,1	6,0	1,0	1,6	9,5	10,6	35,3	35,0
100 kg ha ⁻¹ , c/Cu+Mn	2,1	30,2	3,3	26,9	5,6	0,9	1,6	8,4	11,3	32,6	39,2
CV (%)	13,9	9,7	10,0	4,9	11,0	16,0	14,5	38,2	11,7	15,6	36,8
100 kg ha ⁻¹ , sulf.Cu	2,1	29,4	3,3	26,8	5,7	0,9	1,6	6,8	11,2	34,5	33,9
100 kg ha ⁻¹ , hidr.Cu	2,1	31,1	3,3	26,9	5,6	1,0	1,6	10,0	11,2	30,8	44,6
CV (%)	15,5	10,5	11,1	5,3	10,9	17,4	15,7	39,2	12,5	15,9	38,0
100 kg ha ⁻¹ , sulf.Cu+Mn	2,2	26,6b	3,1	26,7	5,6	0,9	1,5	7,3	10,4	34,3	34,1
100 kg ha ⁻¹ , sulf.Cu+quel.Mn	2,0	32,1a	3,4	26,9	5,7	1,0	1,7	6,3	12,0	34,7	33,8
CV (%)	15,1	7,7	9,4	4,5	9,6	21,2	13,7	61,5	10,9	12,4	11,6
100 kg ha ⁻¹ , hidr.Cu+sulf.Mn	2,0	31,4	3,4	26,3	5,5	1,0	1,6	10,1	11,8	30,7	38,9
100 kg ha ⁻¹ , hidr.Cu+quel.Mn	2,1	30,8	3,2	27,5	5,6	0,9	1,6	9,9	11,3	30,9	50,2
CV (%)	16,9	9,1	13,0	6,3	13,6	14,9	19,1	27,2	13,1	21,7	48,1
médias	2,1	31,0	3,3	27,0	5,7	1,0	1,6	8,1	11,4	34,0	38,2
Nível crítico (BÜLL, 1993)	-	27,5	1,9	17,5	2,3	1,5	1,5	15,0	6,0	42,0	15,0

Letras minúsculas diferentes nas colunas diferem a 5 % de probabilidade pelo teste F

O teor de cobre e manganês, também, aumentou nas plantas que receberam 200 kg ha^{-1} de N (Tabela 16, contraste 1: 100 kg ha^{-1} N x 200 kg ha^{-1} N). Nos demais contrastes, a aplicação de cobre (Cu: 60 g ha^{-1}) e manganês (Mn: 300 g ha^{-1}), independentemente das fontes, não elevaram as concentrações foliares desses nutrientes. Pode-se admitir que o uso de doses maiores desses nutrientes alteraria os resultados deste experimento, em relação à infecção pela ferrugem tropical (*Physopella zaeae*), bem como sobre o estado nutricional do milho.

Os teores médios de cobre não diferiram em relação à fonte do nutriente na forma de sulfato ou hidróxido (Tabela 16: contraste 4; Tabela 17: contraste 9). De maneira semelhante, as fontes de manganês não alteraram a eficiência em relação ao aumento dos teores foliares desse nutriente (Tabela 16: contrastes 5 e 6; Tabela 17: contrastes 10 e 11).

No contraste 7 (200 kg ha^{-1} N, sem fungicida x 200 kg ha^{-1} N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn), verificou-se que a pulverização de fungicida junto com os micronutrientes (Cu e Mn) reduziu o teor foliar de B, quando as plantas receberam a maior dose de nitrogênio (200 kg ha^{-1}) (Tabela 17). Não há, aparentemente, uma justificativa para esse comportamento, pois no presente experimento, apesar do elevado teor de B no solo (Tabela 2), as concentrações foliares foram inferiores ao nível crítico (B: 15 mg kg^{-1}) apresentando, em média, $8,1 \text{ mg kg}^{-1}$ e $7,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabelas 16 e 17).

A deficiência generalizada de Mg pode ser entendida pelos teores elevados no solo de cálcio ($40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e potássio ($5,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 1), aos quais foram acrescidos 40 kg ha^{-1} de K_2O com a adubação de plantio. Nessas condições, o alto teor de cálcio foliar ($5,5 \text{ g kg}^{-1}$) e o teor de K foliar ($27,0 \text{ g kg}^{-1}$), indicam a possibilidade de ter havido competição entre esses nutrientes (Ca e K) e o Mg, prejudicando a sua absorção. No trabalho de Carvalho e Bernardi (2004) os autores comprovaram que aplicações superiores a 80 kg ha^{-1} de K_2O na cultura de algodão em solo com baixo teor de K, provocou a redução na concentração foliar de Mg por competição. Estes resultados corroboram a tese de que houve competição de Ca e K em relação ao Mg neste experimento, diminuindo, conseqüentemente, a sua concentração foliar (Mg: $1,0 \text{ g kg}^{-1}$), em relação ao nível crítico ($1,5 \text{ g kg}^{-1}$).

Tabela 17 - Médias dos contrastes 7 a 11 para o teor de fenóis totais (FT, %), de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S (g kg^{-1}) e micronutrientes B, Cu, Mn e Zn (mg kg^{-1})

Contraste	FT	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
	%	g kg^{-1}						mg kg^{-1}			
200 kg ha^{-1} , s/fung.	2,0	34,7	3,5	26,6	5,3	1,0	1,7	10,8a	13,1	43,2	35,9
200 kg ha^{-1} , c/fung.+ Cu e Mn	2,0	36,1	3,7	26,8	5,6	1,0	1,8	6,4b	13,2	41,0	37,1
CV (%)	14,1	7,6	5,3	5,5	8,8	11,3	12,6	30,2	7,6	14,5	7,5
200 kg ha^{-1} , c/fung.	2,0	36,1	3,7	26,8	5,6	1,0	1,8	6,8	13,2	41,0	37,1
200 kg ha^{-1} , c/Cu+Mn	2,0	34,7	3,5	26,6	5,3	1,0	1,7	7,7	13,1	43,2	35,9
CV (%)	14,1	7,6	5,3	5,5	8,8	11,3	12,6	30,2	7,6	14,5	7,5
200 kg ha^{-1} , sulf.Cu	2,1	36,5	3,6	26,5	5,5	1,0	1,8	7,3	13,0	39,7	37,1
200 kg ha^{-1} , hidr.Cu	1,9	35,6	3,6	27,2	5,7	0,9	1,8	6,6	12,9	43,3	36,5
CV (%)	15,8	7,8	5,2	6,4	10,1	11,7	12,4	25,9	8,0	15,7	7,9
200 kg ha^{-1} , sulf.Cu+Mn	2,0	35,8	3,7	26,0	5,7	1,0	1,7	7,0	12,6	38,4	37,3
200 kg ha^{-1} , sulf.Cu+quel.Mn	2,1	37,1	3,6	26,9	5,4	1,0	1,9	7,6	13,5	41,0	37,0
CV (%)	16,1	10,4	6,1	2,9	4,4	11,8	12,4	28,7	4,9	14,3	8,3
200 kg ha^{-1} , hidr.Cu+sulf.Mn	1,9	35,1	3,5	26,2	5,8	0,9	1,8	5,9	13,2	43,6	35,6
200 kg ha^{-1} , hidr.Cu+quel.Mn	2,1	36,0	3,7	28,2	5,7	0,9	1,7	7,4	12,6	43,0	37,5
CV (%)	16,4	5,1	4,6	8,0	14,1	13,2	13,5	23,1	10,1	18,6	8,2
médias	2,0	35,8	3,6	26,8	5,6	1,0	1,8	7,4	13,0	41,7	36,7
Nível crítico (BÜLL, 1993)	-	27,5	1,9	17,5	2,3	1,5	1,5	15,0	6,0	42,0	15,0

Letras minúsculas diferentes nas colunas diferem a 5 % de probabilidade pelo teste F

4.4 Contrastes entre tratamentos das variáveis em pós-colheita

A colheita do experimento foi realizada em 2 de maio de 2005, 138 dias após a semeadura, avaliando-se na ocasião (pós-colheita), o número de fileira de grãos (NF), o número de grãos por fileira (GF), o comprimento de espigas (CE, cm), massa de 100 grãos (M100, g) e o rendimento de grãos (RG, kg ha^{-1}).

As médias dessas variáveis para o contraste 1 (100 kg ha^{-1} N x 200 kg ha^{-1} N), apresentadas na Tabela 18, indicam que a adubação com 200 kg ha^{-1} N proporcionou aumento na quantidade de grãos por fileira, do comprimento de espigas e,

conseqüentemente, elevou o rendimento de grãos. O número de grãos por planta, variável com o comprimento de espigas e o número de grãos por fileira, apresenta maior relação com a produtividade de milho (BELOW, 1995). Os resultados deste experimento corroboram os dados de vários trabalhos realizados sobre o assunto (GROVE et al., 1980; RAIJ et al., 1981; MELLO et al., 1988; BELOW 1995; DUARTE, 2003; OHLAND et al., 2005).

Tabela 18 – Médias do contraste 1 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ x $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha^{-1})

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
1	ns	*	ns	*	*
$100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$	14,9	34,0	34,19	14,9	7574,6
$200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$	15,1	35,7	35,20	15,6	8685,6
CV (%)	7,7	8,3	2,62	3,5	7,7

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

No contraste 2 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, sem fungicida x $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) constataram-se diferenças significativas para a massa de 100 grãos e rendimento de grãos, os quais foram superiores nas plantas que além de 100 kg ha^{-1} de N receberam a aplicação de fungicida, associada à pulverização foliar de cobre e manganês (Tabela 19). Nessas condições, a massa de 100 grãos foi igual a 34,30 g, com um rendimento médio de $7.769,7 \text{ kg ha}^{-1}$. Para as plantas que receberam 100 kg ha^{-1} de N, sem fungicida, a massa de 100 grãos reduziu para 33,65 g, com produtividade média de $6.598,9 \text{ kg ha}^{-1}$. Portanto, o ganho de rendimento está associado a maior massa de 100 grãos e pelo baixo controle da infecção com a aplicação de fungicida, uma vez que não houve diferença no nível de infecção da planta (Tabela 6: contraste 2).

Tabela 19 – Médias do contraste 2 (100 kg ha⁻¹ N, sem fungicida x 100 kg ha⁻¹ N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
2	ns	ns	*	ns	*
N-100, sem fungicida	14,7	33,8	33,65	14,6	6598,9
N-100, com fung. e micron. Cu+Mn	14,9	34,0	34,30	14,9	7769,7
CV (%)	7,8	8,8	2,40	4,2	6,7

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Para o contraste 3 (100 kg ha⁻¹ N, com fungicida x 100 kg ha⁻¹ N, com micronutrientes Cu e Mn) a massa de 100 grãos (34,48 g) aumentou com o fornecimento foliar de micronutrientes (Cu e Mn). Em consequência, o rendimento de grãos também foi maior nesse tratamento (Tabela 20). Embora a aplicação de micronutrientes não tenha sido eficiente para controlar a infecção da planta (Tabela 7: contraste 3) o aumento de rendimento deve ser visto com restrições, pois a concentração foliar pela aplicação desses nutrientes (Cu: 11,3 mg kg⁻¹ e Mn: 32,6 mg kg⁻¹) não difere da aplicação exclusiva de fungicida (Cu: 10,6 mgkg⁻¹ e Mn: 35,3 mgkg⁻¹) (Tabela 16).

Tabela 20 – Médias do contraste 3 (100 kg ha⁻¹ N, com fungicida x 100 kg ha⁻¹ N, com micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
3	ns	ns	*	ns	*
N-100, com fungicida	14,9	33,6	33,56	15,0	7160,3
N-100, com micronutrientes Cu+Mn	14,9	34,1	34,48	14,9	7922,0
CV (%)	8,0	8,7	2,33	4,4	5,6

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Nas médias das variáveis em pós-colheita relativas ao contraste 4 (100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu x 100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu), apresentadas na Tabela 21, observa diferença somente para o rendimento de grãos. Esse resultado não significa que o hidróxido de cobre foi responsável pelo aumento da produtividade de milho (8.288,8 kg ha⁻¹), comparativamente à produção com o uso de sulfato (7.555,2 kg ha⁻¹). Esta afirmação pode ser comprovada com a maior eficiência no controle da infecção por ferrugem tropical (*Physopella zae*) (Tabela 8: contraste 4). A contradição desse resultado (aumento de rendimento) pode ser evidenciada pela semelhança nos teores de cobre (Tabela 16), independentemente da fonte usada (sulfato Cu: 11,2 mg kg⁻¹ e hidróxido Cu: 11,5 mg kg⁻¹).

Tabela 21 – Médias do contraste 4 (100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu x 100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
4	ns	ns	ns	ns	*
N-100, sulfato Cu	14,8	34,7	34,60	1,5	7555,2
N-100, hidróxido Cu	15,1	33,6	34,36	1,6	8288,8
CV (%)	7,7	8,6	2,48	4,4	3,6

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Na interação entre a utilização de cobre e manganês na forma de sulfato com a aplicação de sulfato de cobre e manganês quelatizado (Tabela 22, contraste 5: 100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e Mn x 100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e quelato Mn), não se constatou significância estatística para as variáveis em pós-colheita.

Tabela 22 – Médias do contraste 5 (100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e Mn x 100 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	MCG	CE	RG
5	ns	ns	ns	ns	ns
N-100, sulfato Cu e Mn	15,0	34,7	34,55	15,1	7553,7
N-100, sulfato Cu e quelato Mn	14,6	34,7	34,65	14,8	7556,7
CV (%)	7,3	7,5	2,82	4,0	4,6

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

A utilização de cobre na forma de hidróxido, juntamente com sulfato de manganês e ou manganês quelatizado influenciaram apenas a massa de 100 grãos (Tabela 23). Não há, aparentemente, uma explicação para esse comportamento, pois não houve variação na supressão da doença (Tabela 10: contraste 6), bem como nos teores foliares de cobre e manganês (Tabela 16).

Tabela 23 – Médias do contraste 6 (100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e sulfato Mn x 100 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
6	ns	ns	*	ns	ns
N-100, hidrox. Cu e sulfato Mn	15,2	34,3	33,84	15,3	8257,9
N-100, hidrox. Cu e quelato Mn	14,9	32,9	34,89	14,4	8319,8
CV (%)	8,0	9,6	1,44	5,0	3,1

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

No contraste 7 (200 kg ha⁻¹ N, sem fungicida x 200 kg ha⁻¹ N, com fungicida e micronutriente Cu e Mn) detectou-se diferença para a massa de 100 grãos (Tabela 24). Nesse contraste, a ausência de significância estatística para a aplicação de fungicida deve-se a pequena infecção pela doença, bem como pela semelhança nos teores foliares de Cu e Mn, com e sem a aplicação desses nutrientes (Tabela 16).

Tabela 24 – Médias do contraste 7 (200 kg ha⁻¹ N, sem fungicida x 200 kg ha⁻¹ N, com fungicida e micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
7	ns	ns	*	ns	ns
N-200, sem fungicida	15,4	34,7	35,86	15,4	8932,2
N-200, com fungicida e micr. Cu+Mn	15,0	35,9	35,07	15,7	8636,3
CV	7,6	7,8	2,61	2,7	6,7

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Os resultados médios das variáveis relativas ao contraste 8 (200 kg ha⁻¹ N, com fungicida x 200 kg ha⁻¹ N e micronutrientes Cu e Mn), apresentados na Tabela 25, indicam variação significativa somente para a massa de 100 grãos. A aplicação desses nutrientes (Cu e Mn) aumentou a referida massa (35,86 g), entretanto, como já discutido, não há razão para tanto, devido à semelhança no teor foliar desses nutrientes (Cu e Mn, Tabela 17).

Tabela 25 – Médias do contraste 8 (200 kg ha⁻¹ N, com fungicida x 200 kg ha⁻¹ N e micronutrientes Cu e Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
8	ns	ns	*	ns	ns
N-200, com fungicida	15,0	35,9	35,07	15,7	8636,3
N-200, com micronutr. Cu+Mn	15,4	34,7	35,86	15,4	8932,2
CV (%)	7,6	7,8	2,61	2,7	6,8

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Na Tabela 26 são apresentadas as médias das variáveis em pós-colheita do contraste 9 (200 kg ha⁻¹ N e sulfato Cu x 200 kg ha⁻¹ N e hidróxido Cu). Observa-se diferença somente para a massa de 100 grãos. O fornecimento de hidróxido de cobre foi superior ao sulfato Cu, resultado que não se justifica, considerando a menor eficiência dessa fonte (hidróxido de Cu) na supressão da infecção pela doença (Tabela 13: contraste 9). Da mesma maneira, devido à semelhança do estado nutricional relativa aos teores foliares de Cu (Tabela 17, sulfato Cu: 13,0 mg kg⁻¹ e hidróxido Cu: 12,9 mg kg⁻¹), torna-se difícil compreender o aumento da massa de grãos.

Tabela 26 – Médias do contraste 9 (200 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu x 200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
9	ns	ns	*	ns	ns
N-200, sulfato Cu	15,0	35,9	34,71	15,7	8367,9
N-200, hidróxido Cu	15,1	35,5	35,07	15,6	8514,1
CV	7,7	7,2	2,04	3,0	6,5

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

As médias do contraste 10 (Tabela 27: 200 kg ha⁻¹ N, sulfato de cobre e manganês x 200 kg ha⁻¹ N, sulfato de cobre e manganês quelatizado), apresentaram diferença para a massa de 100 grãos. Esse dado não pode ser explicado com base no estado nutricional do milho em relação aos micronutrientes cobre e manganês (Tabela 17) e tampouco pela redução de área foliar pelo ataque da ferrugem tropical, pois o ganho significativo de massa de 100 grãos verificou-se nas plantas que apresentaram o maior nível de infecção da doença (Tabela 14: contraste 10).

Tabela 27 – Médias do contraste 10 (200 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e sulfato Mn x 200 kg ha⁻¹ N, sulfato Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
10	ns	ns	*	ns	ns
N-200, sulfato Cu e sulfato Mn	14,7	36,2	34,52	15,8	8016,4
N-200, sulfato Cu e quelato Mn	15,2	35,7	34,91	15,5	8719,4
CV (%)	6,6	8,2	1,73	3,1	5,3

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

Os resultados das médias das variáveis em pós-colheita relativas ao contraste 11 (200 kg ha⁻¹ N, hidróxido de cobre e sulfato de manganês x 200 kg ha⁻¹ N, hidróxido de cobre e manganês quelatizado), estão apresentados na Tabela 28. Com base nesses dados não observou significância estatística para o número de fileiras (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100), comprimento de espiga (CE) e rendimento (RG). Estes resultados indicam que as condições das plantas no campo, em relação aos elementos climáticos, edáficos e da própria planta (material genético) não comprometeram o crescimento e o desenvolvimento das mesmas, fato que proporcionou semelhante saldo de carboidrato.

Tabela 28 – Médias do contraste 11 (200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e sulfato Mn x 200 kg ha⁻¹ N, hidróxido Cu e quelato Mn) para número de fileira de grãos (NF), grãos por fileira (GF), massa de 100 grãos (M100, g), comprimento de espiga (CE, cm) e rendimento (RG, kg ha⁻¹)

Contraste	NF	GF	M100	CE	RG
11	ns	ns	ns	ns	ns
N-200, hidrox. Cu e sulfato Mn	14,8	35,5	35,16	15,9	8442,9
N-200, hidrox. Cu e quelato Mn	15,3	35,4	34,98	15,3	8585,3
CV (%)	8,5	6,3	2,25	2,4	6,7

* e ^{ns} significativo e não significativo, respectivamente pelo teste F a 5% de probabilidade

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N aumentou a infecção da planta (IP) por *Physopella zeae* (3,05) comparativamente ao fornecimento de 100 kg ha⁻¹ de N (IP: 2,72). A maior dose de nitrogênio apresentou também, maiores valores de IAF, por ampliar a duração foliar, o que implicou no aumento do número de folhas fotossinteticamente ativas.

Mesmo realizando-se a aplicação de fungicida o nível de infecção da planta (IP), foi menor naquelas adubadas com 100 kg ha⁻¹ de N (IP: 1,85), do que as plantas que receberam 200 kg ha⁻¹ de N (IP: 3,01).

O fornecimento de sulfato de cobre, também contribuiu para a redução da infecção da planta (IP: 2,68) naquelas que receberam 100 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹ de N.

Os resultados obtidos neste experimento evidenciam que a maior dose de N proporcionou uma elevação na infecção de *Physopella zeae* no milho, em que o uso de fungicida proporcionou um controle eficiente, assim como a aplicação de cobre e manganês na forma de sulfato.

O fornecimento de 200 kg ha⁻¹ de N proporcionou aumento nos teores foliares de nutrientes como o N, P, S, Cu e Mn. As aplicações foliares de cobre e manganês não influenciaram as concentrações desses nutrientes (Cu e Mn) na folha diagnóstica.

A maior dose de N (200 kg ha⁻¹) proporcionou maior produção de milho (8.685,6 kg ha⁻¹) comparada com 100 kg ha⁻¹ de N (7.574,6 kg ha⁻¹).

Os resultados de fenóis totais nas folhas de milho não apresentaram correlação com a aplicação de micronutriente (Cu e Mn), assim como a baixa infecção pela doença, aparentemente, não estimulou a produção de fenóis nas folhas por meio da elevação da atividade do metabolismo secundário.

Pode-se admitir por hipótese, que o uso de doses mais elevadas de cobre e manganês, em relação ao que foi usado neste experimento, pode constituir-se em prática eficiente de manejo no controle de doenças foliares.

A ação do cobre sobre a ferrugem tropical, possivelmente resultou de ação direta do nutriente sobre o patógeno, pela presença na cutícula foliar (Cu), uma vez que a remoção desse nutriente por água é muito difícil.

A maior eficiência do sulfato de cobre em relação ao hidróxido de cobre, assumindo-se que ação ocorreu pela sua presença (Cu) na cutícula foliar, pode estar relacionada à maior solubilidade da fonte sulfato, resultando numa maior penetração no patógeno.

6 CONCLUSÕES

O fornecimento de 200 kg ha⁻¹ de N aumentou o rendimento de milho e o nível de infecção de planta pela ferrugem tropical (*Physopella zeae*), independentemente das fontes de cobre e manganês usadas nas aplicações foliares.

As fontes de cobre e manganês, na forma de sulfato, foram mais eficientes na supressão de infecção de plantas pela ferrugem tropical (*Physopella zeae*) do que as formas de hidróxido de cobre e manganês quelatizado.

Os micronutrientes cobre e manganês, na dose utilizada, não substituem a aplicação de fungicida para o controle de infecção pela ferrugem tropical (*Physopella zeae*).

O uso de fungicida não eliminou a infecção de plantas pelo fungo, mesmo sob baixa severidade da doença, independentemente da dose de nitrogênio que foi aplicada.

REFERÊNCIAS

AGRIOS, G.M. Environmental effects on infections plant disease development. In:_____. **Planta pathology**. 3rd ed. London: Academic Press, 1980. p. 147 – 155.

BALKO, L.G.; RUSSEL, W.A. Response of maize inbred line to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 723 – 728, Sept./Oct. 1980.

BALMER, E.; PEREIRA, O.A.P. Moléstias no milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 597 – 634.

BARTZ, J.A.; GERALDSON, G.M.; CRILL, J.P. Nitrogen nutrition of tomato plants and susceptibility of the fruit to bacterial soft rot. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 69, p. 163–166, 1979.

BELOW, F.E. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: PRESSARAKLI, M. **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 275 – 301.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In:_____. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63 – 145.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.

CARVALHO, M.C.S.; BERNARDI, A.C.C. Resposta do algodoeiro à adubação potássica. **Informações Agrônomicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 107, p. 1 – 9, 2004.

CASA, R.T.; REIS, E.M. Doenças na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Milho: estratégia de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ, LPV, 2003. p. 1 – 18.

CHAMEL, A.; GAMBONNET, B. Study with isolated cuticles of the behaviour of zinc applied to leaves. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.5, n. 3, p. 153 – 171, 1982.

CHOBOUSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose**. 2. ed. Porto Alegre: L & PM, 1999. 256 p.

COELHO, A.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I. A. Rendimento do milho no Brasil: chegamos ao máximo? **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 101, p.1– 12, 2003.

COLHOUM, J. Effects of environmental factors on plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.11, p. 343 – 364, 1973.

COSTA, F.M.P. **Severidade de *Phaeosphaeria maydis* e rendimento de grãos de milho**. 2001. 110 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

DUARTE, A.P. **Resposta de cultivares de milho ao nitrogênio no sistema de plantio direto e sua influência na qualidade de grãos**. 2003. 174 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; MARRIEL, I.E.; GAMA, E.G.; CASELA, C.R.; OLIVEIRA, A.C.; CANTÃO, F.R.O. **Caracterização de genótipos para uso e eficiência de nitrogênio em milho e influência da adubação nitrogenada sobre a incidência e severidade da mancha foliar de *Phaeosphaeria maydis***. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2004. 8 p.

EMBRAPA. **Ambiente de software NTIA**: manual do usuário – ferramental estatístico. Campinas, CNPTIA, 1997. 258 p.

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

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Fenologia do milho. **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 78, p. 1 – 13, 1997.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo de água. **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 73, p.1 – 6, 1996. Apresentado no SEMINÁRIO SOBRE FISILOGIA DA PRODUÇÃO E MANEJO DE ÁGUA E DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE. 1., 1996, Piracicaba.

FANTIN, G.M.; SAWAZAKI, E.; BARROS, B.C. Avaliação de genótipos de milho pipoca quanto à resistência a doenças e qualidade da pipoca. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 90 – 99, 1991.

FERREIRA, A.C.B.; ARAUJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Efeito da aplicação de N, Mo e Zn sobre a cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MIHO E SORGO, 21., 1996, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1996. p.149.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E. A rapid method for leaf area estimation in maize (*Zea mays*). **Crop Science**, Madison, v.9, p.537 – 539, 1996.

GOODMAN, R.N.; KIRALY, Z.; WOOD, K.R. **The biochemistry and physiology of plant disease**. Columbi: University of Missouri Press, 1986. 443 p.

GRAHAM, R.D. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. **Advances in Botanical Research**, London, v. 10, p. 221-276, 1983.

GRAHAM, R.D.; WEBB, M.J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. 2nd ed. Madison: SSSA, 1991. p. 329 – 370.

GROVE, T.L.; RITCHE, K.D.C. Jr. Nitrogen fertilization of maize on Oxisol of the cerrado do Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 261 - 265, 1980.

HUBER, D.M. The role of nutrition in the take-all disease of wheat and other small grains. In: ENGELHARD A.W. **Management of disease with macro and microelements**. St. Paul: APS Press, 1990. p. 46 - 74.

HUBER, D.M. The influence of mineral nutrition on the vegetable disease. **Horticultura Brasileira**, Brasília v. 12, n. 2, p. 206 – 214, 1994.

HUBER, D.M.; WATSON, R.D. Nitrogen form and plant disease. **Annual Review of Phytopatology**, Palo Alto, v. 12, p. 139 - 65, 1974.

HUBER, D.M.; WILHELM, N.S. The role of manganese in resistance to plant disease. In: **MANGANESE IN SOIL AND PLANTS: AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM**, 1988, Glen Osmond. Glen Osmond: Waite Agriculture Research Institute, 1988. p. 155 – 173.

KEINATH, A.P.; LORIA, R. Management of common scab of potato with nutrients. In: ENGELHARD, A.W. **Management of disease with macro and microelements**. St Paul: APS Press, 1990. p. 152 – 165.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MELLO, F.A.F.; ARZOLA, S.; KIEHL, J.C.; BRITO NETO, J. Efeito das doses e modos de aplicação de uréia na produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 269 - 274, 1988.

MISAGHI, I.J. **Physiology and biochemistry of plant-pathogen interactions**. New York: Plenum Press, 1980. 205 p.

NEPTUNE, A.M.L.; NAKAGAWA, J.; SCOTTON, L.C.; SOUZA, E.A. Efeitos de doses não eqüidistantes de N, P e K nas concentrações destes macronutrientes na folha e na produção do milho (*Zea mays*). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 39, p. 917 – 941, 1982.

OHLAND, R.A.A.; SOUZA, L.C.F. de; HERNANI, L.C.; MARCHETTI, M.E.; GONÇALVES, M.C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada do milho em plantio direto. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538 - 544, maio/jun. 2005.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismo de resistência. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.2, p. 1 – 51, 1994.

PEGORARO, D.G.; VACARO, E.; NUSS, C.N.; SOGLIO, F.K.D.; SERENO, M.J.C.M.; NETO, J.F.B. Efeito da época de semeadura e adubação na mancha foliar de *Phaeosphaeria* em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 8, p. 1037 - 1042, ago. 2001.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2nd ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285 p.

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; DECHEN, A.R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A.A.; CAMPANA, M.P.; PETINELLI, A.; NERY, C.A. Análise de solo para discriminar resposta à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 40, p. 57 - 15, 1981.

RANNEY, C.D. Effects of nitrogen source and rate on the development of *Verticillium* wilt of cotton. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 52, p. 38 - 41, 1962.

SILVA, H.P.; REZENDE, I.C.; PEREIRA, O.A.P. Comportamento das doenças dos milhos em diferentes épocas de semeadura. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: ABMS; EMGOPA; EMBRAPA/CNPQ; UFG; EMATER – GO, 1994. p. 173.

WARNCKE, D.; BARBER, S. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentrations and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 950 - 954, 1973.

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

YAMADA, T. O nitrogênio e o potássio na adubação da cultura do milho. **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 78, p 1 - 4, 1997.

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho?. **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 91, p 1 - 5, 2000.

ZAGO, E.A.; AMORIM, H.V. Efeito do potássio no metabolismo de plantas: (I) A eficiência do potássio no teor de compostos fenólicos em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.; cultivar carioca). **Científica**, Jaboticabal, v. 5, n. 2, p. 180 – 185, 1977.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J.A. Resistência a doenças induzidas pela nutrição mineral das plantas. **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 75, p.1 – 16, 1996.