

ELTJE JAN LOMAN FILHO

**FERTILIZAÇÃO DE BORO NA CULTURA DO MILHO ASSOCIADA A
NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTIO DIRETO NA PALHA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Amir Pissaia

CURITIBA

2004



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de MESTRADO, apresentada pelo candidato **ELTJE JAN LOMAN FILHO**, sob o título **“FERTILIZAÇÃO DE BORO NA CULTURA DO MILHO ASSOCIADA A NITROGÊNIO E POTÁSSIO EM PLANTIO DIRETO NA PALHA”**, para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação.

Curitiba, 23 de Julho de 2004.



Professor Dr. Jeferson Zagonel
Primeiro Examinador



Professor Dr. João Carlos de Moraes Sá
Segundo Examinador



Professora Dra. Beatriz Monte Serrat
Terceira Examinadora



Professor Dr. José Luis Camargo Zambon
Quarto Examinador



Professor Dr. Amir Pissaia
Presidente da Banca e Orientador

À minha esposa, CATHARINA e meus filhos
LUCIANO, CAMILLA, GUSTAVO e
MARCOS, pela compreensão nas minhas
ausências e pelo incentivo à realização
deste trabalho

Com muito carinho,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Amir Pissaia, pelo incentivo, compreensão e companheirismo durante a jornada de trabalho e estudos, e pela adequada orientação dada ao desenvolvimento do projeto.

Ao Professor João C. Possamai, pela orientação e auxílio na análise estatística.

Ao meu colega de trabalho e amigo José Mauricio Zanon pela colaboração e motivação dispensada quando necessário.

À Fundação ABC pela colaboração e apoio na elaboração do projeto.

Aos produtores os quais assisti durante os estudos, pela compreensão, apoio e tolerância pelos dias nos quais estive ausente.

Aos produtores Geraldo H. Morsink e Willem van de Riet, pela colaboração cedendo a área e ajuda para implantação do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 A CULTURA DO MILHO.....	03
2.1.1 Exigências nutricionais.....	03
2.1.1.1 Boro.....	04
a) pH do solo.....	05
b) matéria orgânica do solo.....	06
c) compostos de ferro e alumínio.....	06
d) tipo de argila.....	06
e) textura.....	07
f) umidade do solo.....	07
g) interação do boro com outros íons.....	07
2.1.1.2 Nitrogênio.....	09
2.1.1.3 Potássio.....	10
3 METODOLOGIA	12
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	12
3.2 SOLO.....	12
3.3 CLIMA.....	13
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	15
3.5 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	15
3.5.1 Semeadura.....	15
3.5.2 Adubação.....	16
3.5.3 Controle de plantas daninhas e manejo da cultura anterior.....	16
3.5.4 Controle de pragas.....	17
3.5.5 Colheita.....	17
3.6 AVALIAÇÕES.....	17
3.6.1 Estatura da planta.....	17
3.6.2 Altura de inserção da primeira espiga.....	17
3.6.3 Diâmetro do colmo.....	18
3.6.4 Plantas por parcela.....	18
3.6.5 Espigas por parcela.....	18
3.6.6 Rendimento de grãos.....	18
3.6.7 Massa de mil grãos.....	19
3.6.8 Teor foliar de Boro, Nitrogênio e Potássio.....	19
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 RENDIMENTO DE GRÃOS.....	21
4.2 COMPONENTES DE PRODUÇÃO.....	24

4.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS.....	25
4.4 TEORES FOLIARES DE BORO, NITROGÊNIO E POTÁSSIO.....	26
5 CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS.....	32
ANEXOS.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais minerais de boro de ocorrência nos solos.....	05
Tabela 2 – Sequência de rotação de culturas da área experimental, Fazenda Ônix, Piraí do Sul, PR 2001.....	12
Tabela 3 – Resultado das análises do solo da área experimental, em camadas de 00-10 cm, 10-20 cm, 20-30cm e 30-40cm, Fazenda Ônix, Piraí do Sul, PR 2001.....	14
Tabela 4 – Valores de F e significância obtida na análise de variância para as variáveis analisadas.....	22
Tabela 5 – Valores de F e significância obtida na análise de variância para as variáveis analisadas.....	26
Tabela 6 – Teste de classificação de médias para a produtividade de grãos (PG), população de plantas (Pop), número de espigas por hectare (Esp), prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp) e massa de mil grãos (MMG), submetidas a três doses de nitrogênio.....	27
Tabela 7 – Teste de classificação de médias para a produtividade de grãos (PG), população de plantas (Pop), número de espigas por hectare (Esp), prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp) e massa de mil grãos (MMG), submetidas a três doses de potássio.....	28
Tabela 8 – Teste de classificação de médias para a produtividade de grãos (PG), população de plantas (Pop), número de espigas por hectare (Esp), prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp) e massa de mil grãos (MMG), submetidas a cinco doses de boro.....	28
Tabela 9 – Teste de classificação de médias para a estatura de plantas (EstPI), altura de inserção da primeira espiga (InsEs), diâmetro do colmo (DiaCo), teor foliar de boro (BFol), teor foliar de nitrogênio (NFol) e teor foliar de potássio (KFol), submetidas a três doses de nitrogênio.....	29
Tabela 10 – Teste de classificação de médias para a estatura de plantas (EstPI), altura de inserção da primeira espiga (InsEs), diâmetro do colmo (DiaCo), teor foliar de boro (BFol), teor foliar de nitrogênio (NFol) e teor foliar de potássio (KFol), submetidas a três doses de potássio.....	30
Tabela 11 – Teste de classificação de médias para a estatura de plantas (EstPI), altura de inserção da primeira espiga (InsEs), diâmetro do colmo (DiaCo), teor foliar de boro (BFol), teor foliar de nitrogênio (NFol) e teor foliar de potássio (KFol), submetidas a cinco doses de boro.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação climática do Paraná segundo Köppen.....	13
Figura 2 – Precipitação pluvial na Fazenda Ônix, Piraí do Sul, PR 2002.....	20
Figura 3 – Balanço hídrico Fazenda Ônix, Piraí do Sul, PR 2002.....	21

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Análise de variância dos dados referentes ao rendimento de grãos (PG).....	40
Anexo 2 – Análise de variância dos dados referentes à prolificidade (Prol) e grãos por espiga (GEsp).....	40
Anexo 3 – Análise de variância dos dados referentes à população (Pop), número de espigas por hectare (Esp) e massa de mil grãos (MMG).....	41
Anexo 4 – Análise de variância dos dados referentes à estatura de planta (EstPl), inserção da primeira espiga (InsEs) e diâmetro do colmo (DiaCo).....	42
Anexo 5 – Análise de variância dos dados referentes ao teor foliar de boro (BFol), nitrogênio (NFol) e potássio (KFol).....	42
Anexo 6 – Valores médios de produtividade de grãos (PG, kg.ha ⁻¹), população de plantas (Pop, plantas.ha ⁻¹), número de espigas por hectare (Esp, espigas.ha ⁻¹) e massa de mil grãos (MMG, g) em função das doses (kg.ha ⁻¹) de boro (DB), nitrogênio (DN) e potássio (DP).....	43
Anexo 7 – Valores médios de prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp), estatura de plantas (EstPl, cm), altura de inserção da primeira espiga (InsEs, cm) e diâmetro do colmo (DiaCo, mm) em função das doses (kg.ha ⁻¹) de boro (DB), nitrogênio (DN) e potássio (DP).	44
Anexo 8 – Valores médios de teor foliar de boro (BFol, mg.kg ⁻¹), nitrogênio (NFol, g.kg ⁻¹) e potássio (KFol, g.kg ⁻¹) em função das doses (kg.ha ⁻¹) de boro (DB), nitrogênio (DN) e potássio (DP).....	45
Anexo 9 – Croqui da área experimental, representação das parcelas e tratamentos.....	46
Anexo 10 – Parcela experimental.....	47
Anexo 11 – Descrição dos tratamentos e distribuição das parcelas.....	48

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura responsiva a aplicação de fertilizantes. A aplicação de doses elevadas de fertilizantes para obtenção de altas produtividades de grãos e massa verde podem levar ao desequilíbrio de nutrientes na planta se os mesmos não forem adequadamente disponibilizados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da aplicação de boro juntamente com a adubação de base no sulco de semeadura associada a nitrogênio e potássio em cobertura na cultura de milho. Parte-se da hipótese: adubando o milho com boro elevará o teor deste micronutriente na folha, ocasionado pela sua maior absorção e, conseqüentemente, aumentará a produtividade de grãos. O trabalho foi conduzido na Fazenda Ônix no município de Pirai do Sul, PR, num LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico de textura média, em área sob plantio direto na palha há nove anos, em delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com três repetições. Amostra do solo da área experimental foi enviada para análise química (P, K, Ca, Mg, H, Al, pH, MO, Fe, Mn, Zn, B e Cu) e análise física (argila, silte e areia); foi coletada uma amostra composta por bloco com duas sub-amostras por parcela. Na semeadura o milho foi adubado no sulco com 39 kg.ha⁻¹ de N, 84 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 24 kg.ha⁻¹ de K₂O e 3 kg.ha⁻¹ de Zn, as parcelas receberam os tratamentos com boro: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 kg.ha⁻¹ juntamente com a adubação de base no sulco e as subparcelas receberam os tratamentos de nitrogênio em cobertura: 0; 100 e 200 kg.ha⁻¹ e potássio em cobertura: 0; 90 e 180 kg.ha⁻¹. Foram avaliados a produtividade de grãos, teor de boro, nitrogênio e potássio na folha índice, altura de planta, altura de inserção de espigas, diâmetro do colmo, população de plantas por ha, número de espigas por ha, número de espigas por planta, número de grãos por espiga e a massa de mil grãos. A adubação com boro não influenciou nenhum dos parâmetros avaliados, exceto a população de plantas. Houve resposta significativa para produtividade de grãos, altura de planta, diâmetro do colmo, altura de inserção da primeira espiga, número de grãos por espiga e massa de mil grãos com a aplicação de nitrogênio em cobertura. Houve resposta significativa para teor foliar de K e de N com a aplicação de potássio e nitrogênio em cobertura, respectivamente, e para teor foliar de K com a aplicação de nitrogênio em cobertura.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is a responsive culture to fertilizer application. High production of grains and green mass are gotten with fertilizations that can lead to the disequilibrium of nutrients in the plant if the same ones are not adequately available. The objective of this work was to evaluate the efficiency of boron application along with fertilization at planting, relying on the hypothesis: fertilizing maize with boron will raise the percentage of this micronutrient in the leaf, occasioned by its higher absorption and, consequently, it will increase grain productivity. The present work was lead in Pirai do Sul county, PR, in an Oxissoil, in area under no-till for some years. The experimental design was a randomized complete block utilizing split-plots with three replications. Sample of the ground of the experimental area was sent for chemical analysis (P, K, Ca, Mg, H, Al, pH, OM, Fe, Mn, Zn, B and Cu) and physical analysis (clay, silt and sand); a composed sample for block with two sub-samples for parcel was collected. The maize was fertilized at planting with 39 kg.ha⁻¹ of N, 84 kg.ha⁻¹ of P₂O₅, 24 kg.ha⁻¹ of K₂O and 3 kg.ha⁻¹ of Zn, the parcels had received treatments with boron: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 and 4,0 kg.ha⁻¹ together fertilization at planting, and the split-plots had received treatments in covering: nitrogen: 0; 100 and 200 kg.ha⁻¹ and potassium: 0; 90 and 180 kg.ha⁻¹. The productivity of grains, the percentage of boron, nitrogen and potassium in the index leaf, plant height, first spike insertion, stem diameter, plant population per ha, number of spikes per ha, number of spikes per plant, number of grains per spike and the mass of thousand grains, was evaluated. The fertilization with boron did not influence any of the evaluated parameters, except the population of plants. Nitrogen application in covering had significant replied with grain productivity, plant height, stem diameter, first spike insertion, number of grains per spike and mass of thousand grains. The foliar percentage of K and N had significant replied with the application of potassium and nitrogen in covering, respectively, as well as the foliar percentage of K with the nitrogen application in covering.

1. INTRODUÇÃO

A cultura de milho é de grande importância para o Brasil e ocupa atualmente 11,07 milhões de hectares e ocupou na safra 1999/2000, 9,86 milhões de hectares, com estimativa de produtividade média de 3.121 kg.ha⁻¹ para a safra atual e 2.810 kg.ha⁻¹ na safra 1999/2000, sem considerar a safrinha (24).

O que chama a atenção são as baixas produtividades no Brasil. Em contraposição, no município de Castro, Região dos Campos Gerais do Paraná, nas cooperativas do grupo ABC as produtividades de milho atingem os patamares de 11.000 a 12.000 kg.ha⁻¹, com média de 7.400 kg.ha⁻¹. Esta produtividade média é comparável à de países desenvolvidos em agricultura.

Nas safras 1999/2000 e 2000/2001, apesar das altas produtividades, em trabalho de acompanhamento do estado nutricional de lavouras de milho da região, várias amostragens de tecido foliar foram analisadas e com base nos resultados observou-se que em todas as amostras os níveis de boro estavam abaixo do nível crítico inferior de 15 mg.kg⁻¹ e aquém da faixa de teor adequado de 10 – 25 mg.kg⁻¹ conforme Boletim Técnico 100 (64, 82).

As condições gerais que favorecem a ocorrência de deficiência de boro, são o cultivo de espécies exigentes como algodão e girassol, textura do solo, períodos de seca, elevadas precipitações, pH e interação com outros íons, principalmente nitrogênio e potássio (16, 17, 22, 46, 90, 99). No entanto, os resultados de pesquisa ainda são inconsistentes quanto à resposta das culturas à adubação com boro, principalmente pela pequena diferença entre os níveis de deficiência e toxidez e pela absorção do boro aplicado ao solo pela matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio.

Na região dos Campos Gerais do Paraná, ocorrem precipitações anuais em torno de 1.900 mm, com ocorrência de veranicos e em solos rasos. O sistema de plantio utilizado é o Plantio Direto, com aplicação de calcário em superfície para manutenção e elevadas doses de N e K em milho. Estes fatores podem proporcionar condições de obtenção de resposta a boro, em função do acúmulo de matéria orgânica e elevado pH na superfície.

Desta forma, este trabalho foi desenvolvido com o seguinte objetivo geral: “avaliar na cultura de milho a eficiência da aplicação de boro juntamente com a adubação de base no sulco de plantio”, e como objetivos específicos: “avaliar o efeito da aplicação em cobertura de altas doses de nitrogênio e potássio nos teores foliares de boro”.

Para avaliar os objetivos propostos, formulou-se a hipótese de que: “adubando o milho com boro elevará o teor deste nutriente na folha, ocasionado pela sua maior absorção e, conseqüentemente, aumentará a produtividade de grãos”.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO MILHO

Milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente à família Poaceae, que não se encontra em estado silvestre, mas somente em cultivo. Assim como outra gramínea possui uma haste (colmo) cilíndrica com nós compactos. O caráter monóico e a sua morfologia característica resultam da supressão, condensação e multiplicação de varias partes da anatomia básica das gramíneas (1, 39).

A planta de milho é uma das mais eficientes armazenadoras de energia existente na natureza, apresenta características fisiológicas extremamente favoráveis no que se refere à eficiência de conversão do carbono mineral, representado pelo gás carbônico da atmosfera, em compostos orgânicos como os carboidratos. Este processo que se realiza através da fotossíntese, se refere a bioconversão da energia solar. No milho a grande eficiência de transformação de energia luminosa em energia química deve-se ao processo fotossintético do tipo C₄ no qual o CO₂ é continuamente concentrado nas células da bainha vascular das folhas (59).

O milho é uma das plantas cultivadas de maior interesse quanto a sua origem, estrutura e variação. A pesquisa tem desenvolvido tipos tão diferentes de milho que seu cultivo é possível desde o equador até o limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 m. Da mesma forma a sua variação quanto à utilização como alimento, indústria e forragem (60).

2.1.1 Exigências nutricionais

A cultura do milho extrai do solo para o seu desenvolvimento completo e para a produção de cada Mg de grãos em média 24,9 kg de N, 4,3 kg de P, 18,2 kg de K, 3,9 kg de Ca, 4,4 kg de Mg, 2,6 kg de S e 18 g de B, e destes valores a quantia exportada pela colheita de grãos é 63%, 89%, 26%, 12%, 36%, 45% e 18% respectivamente (77).

2.1.1.1 Boro

O boro é importante para a nutrição das plantas, mas as necessidades diferem muito entre as espécies. Ele é essencial para o crescimento normal de monocotiledôneas, dicotiledôneas, coníferas e várias espécies de diatomáceas, entretanto não é essencial para fungos e a maioria das algas. Poaceas como o trigo e a aveia têm necessidade muito menor de boro do que as dicotiledôneas e outras poaceas, como o milho. Ainda não existe experimento que boro é nutriente requerido por bactérias e animais (71, 72).

O papel do boro no metabolismo da planta ainda não é bem compreendido, na verdade, nenhuma função específica deste micronutriente foi identificada. Sabe-se que as funções do boro são relacionadas a alguns processos básicos, como o metabolismo de carboidratos e o transporte de açúcares através das membranas, a síntese de ácidos nucleicos (RNA e DNA) e de fitohormônios, a formação de paredes celulares, a divisão celular e o desenvolvimento de tecidos (10, 27).

Apesar da concordância de que ele é essencial para as plantas, ainda não foi estabelecida uma função bioquímica para o boro. A hipótese mais aceita é a de GAUCH e DUGGER Jr. (1953) citados por DECHEN et al (1991), para os quais, a função desse elemento é a de facilitar o transporte de açúcares através das membranas (27).

O boro é um elemento essencialmente litófilo, ocorrendo nos minerais sempre combinado com o oxigênio em coordenação triangular, formando boratos ou, mais raramente, em coordenação tetraédrica, substituindo parcialmente o silício nos borossilicatos, devido à grande diferença entre os raios iônicos dos dois elementos (B – 0,23 Å; Si – 0,43 Å). O boro participa da estrutura de um número elevado de minerais, embora poucos apresentem alguma importância, quer pelo seu valor econômico, quer pela quantidade presente nas rochas, Tabela 1 (26).

O boro presente no solo é quantificado em duas formas distintas: a total e a disponível. O boro total é representado no solo pelas formas contidas nos minerais, na matéria orgânica e adsorvida ou fixada, formas estas não absorvidas pelas raízes das plantas, e ainda, pelo boro da solução do solo, que são as absorvidas.

Tabela 1 – Principais minerais de boro de ocorrência nos solos.

Mineral	Forma	% B ₂ O ₃ total
Axinita	Ca ₂ (MN, Fe)Al ₂ (BO ₃)(Si ₄ O ₁₂)(OH)	4,5 – 5,5
Boracita	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62,5
Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36,6
Colemanita	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50,9
Damburita	CaB ₂ Si ₂ O ₈	28,4
Datolita	CaBSiO ₄ (OH)	21,8
Dumortierita	(Al, Fe) ₇ O ₃ (BO ₃)(SiO ₄) ₃	2,5 – 5,5
Turmalina	(Na, Ca)(Al, Fe, Mg) ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄	8,0 – 12,0
Ulexita	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43,0

Os teores de boro total variam acentuadamente, devido principalmente ao tipo do mineral de boro presente no solo e aos teores de matéria orgânica. Para JACKSON (1970), a quantidade de boro total no solo varia de 4 a 98 mg.dm⁻³, sendo que nos solos de regiões úmidas com textura argilosa o teor desse elemento oscila entre 30 e 60 mg dm⁻³ e, nos solos arenosos, entre 2 e 6 mg.dm⁻³. Outros autores estimam teores totais de boro no solo variando entre 20 e 300 mg.dm⁻³(26, 52, 69).

O boro disponível é representado pelo dissolvido na solução do solo, pelas formas inorgânicas sujeitas a dissolução e pelo associado à matéria orgânica que pode ser mineralizada. Tanto a dissolução de formas minerais, quanto a mineralização da forma orgânica (faz parte principalmente da estrutura de ésteres), devem ocorrer em espaço de tempo suficientemente curto para permitir o abastecimento da solução do solo e conseqüentemente, a nutrição da planta.

O teor assimilável de boro no solo, medido através da extração com água quente oscila, segundo BERGER (1949), numa amplitude de 0,1 a 2,0 mg.dm⁻³ e resulta quase que totalmente da mineralização da matéria orgânica. Para JACKSON (1970), esse teor varia de 0,2 a 1,5 mg.dm⁻³ (8, 52).

Grande número de trabalhos demonstram uma estreita relação entre os fatores intrínsecos do solo e a disponibilidade de boro às plantas:

a) pH do solo: é um dos mais importantes fatores que afetam a disponibilidade de boro no solo e para as plantas. Diversos trabalhos mostram crescente adsorção de boro pelo solo em função do aumento do pH, indicando o

máximo de adsorção na faixa alcalina. Vários pesquisadores também observaram correlação negativa entre absorção de boro pelas plantas e pH do solo. Porém, esta relação não é consistente e desvios deste efeito ocorrem, devido a fatores como espécies vegetais (6, 7, 20, 42, 43, 44, 56, 73, 97);

b) matéria orgânica do solo: o boro disponível do solo se encontra principalmente associado à matéria orgânica, o que explica os seus maiores teores nos horizontes superficiais (9). Correlações positivas e significativas foram obtidas entre o boro solúvel em água quente e o teor de matéria orgânica em sete grandes grupos de solos do Estado de São Paulo, e em solos da zona litoral, Mata de Pernambuco (12, 51). A adição ao solo de compostos ricos em matéria orgânica resultou em altas concentrações de boro no tecido de plantas e em fitotoxicidade (81). Alguns autores sugerem que a matéria orgânica do solo concorre para a fixação do boro, pela formação de compostos organoborados (76);

c) compostos de ferro e alumínio: a adsorção do boro por minerais de ferro e alumínio, especificamente sesquióxidos e hidróxidos, foi estudada por vários autores (23, 50, 66, 88). Pesquisadores constataram que os sesquióxidos de alumínio (Al_2O_3) e de ferro (Fe_2O_3) apresentavam adsorção crescente de boro com o aumento de pH, tendo os picos dessa adsorção ocorrido nas faixas de 6,0 a 7,0 para os primeiros e de 8,0 a 9,0 para os últimos, com declínio gradual para índices maiores de pH (38). O possível mecanismo para explicar a retenção de boro pelos hidróxidos é semelhante ao da formação dos complexos organoborados. O borato, passa a pertencer ao polímero do hidróxido mediante dois prováveis mecanismos: 1) eliminação de água e formação do complexo borato-diol; 2) troca de íons borato $B(OH)_4^-$ por íons hidroxila (88);

d) tipo de argila: segundo SIMS e BINHAM (1967), as argilas vermiculita, caulinita, montmorilonita e hidrobiotita, adsorvem boro. De acordo com esses autores, essa adsorção é afetada pelo pH, com a máxima ocorrendo na faixa alcalina e a adsorção em questão não se devendo às argilas em si, mas a compostos de alumínio e de ferro que ocorrem como impurezas nas amostras. Em outro trabalho afirmam que, na fase sólida do solo, é mais importante a presença de hidróxidos de alumínio e de ferro como adsorventes do boro do que qualquer outro tipo de argila (88, 89);

e) textura: a textura do solo é um importante fator que afeta a disponibilidade de boro em certos solos (96), e o teor de boro disponível nas frações do solo diminui na seguinte ordem: argila, silte e areia (74). Em estudo com solos do Canadá, achou-se maiores quantidades de boro solúvel em água quente em solos de textura fina do que em solos com textura grossa. Os baixos teores de boro em solos arenosos estão associados provavelmente com a maior perda por lixiviação. Isto também explica a baixa porcentagem de boro solúvel em água quente, que ocorre nestes solos (45). Pesquisadores reportaram que perdas por lixiviação em solos ácidos e arenosos somam mais de 85% do boro após a aplicação de 12,5 cm de água (75), e a movimentação de boro é menos rápida em solos mais pesados devido à adsorção pelas argilas (85). Também se encontrou melhor suprimento de boro nos solos argilosos quando comparados com os arenosos (12). Em estudos sobre solos de Piracicaba se obteve correlação positiva e significativa entre os teores de boro total ou solúvel e os teores de argila dos solos estudados (18);

f) umidade do solo: estudos demonstram que a secagem do solo traz em consequência, menor disponibilidade de boro, podendo ocorrer maior adsorção. Variações de até 100% de retenção foram encontradas quando era aumentado o número de ciclos de secagem (37). O efeito não está devidamente compreendido, tendo sido formuladas varias hipóteses para explicá-lo, destacando-se as seguintes: 1) devido a deficiência de umidade, a mineralização da matéria orgânica é dificultada, ficando a liberação do boro nela contida reduzida a índice quase zero; 2) decréscimo na quantidade de água no solo corresponde à diminuição no teor de boro prontamente disponível; 3) devido ao dessecamento, o boro pode ser fortemente fixado pelo solo; 4) há dificuldade da planta em absorver o boro, devido a deficiência de umidade; 5) devido às condições de seca, há uma redução no sistema radicular, induzindo a menor exploração do volume do solo, com conseqüente redução na absorção do boro pela planta;

g) interações do boro com outros íons: dentre os nutrientes o N é de extrema importância na absorção de boro pelas plantas. CHAPMAN & VANSELOW (1955) estavam entre os pioneiros estabelecendo que aplicações de N, algumas vezes era benéfico no controle de excesso de B em citrus. Pesquisadores afirmaram que, em condições de alto nível de boro, aplicações de N diminuía o teor de boro em folhas de citrus, e que altas concentrações de nitrogênio nítrico ou amoniacal

aplicadas ao solo reduzem os teores de boro nas folhas, comprovando um provável antagonismo N/B no solo. Também citam que, quando ocorria deficiência de boro em algodão, a aplicação de 250 kg ha⁻¹ de N, diminuía a produção, entretanto com a aplicação de boro esta dose de N aumentava a produtividade do algodão. Vários autores reportaram, que concentrações de boro decresciam com o aumento de doses de nitrogênio e que adição de nitrogênio diminuía a severidade da toxicidade de boro (14, 47, 53, 57, 90, 99). Para alguns autores existem indicativos de que altas concentrações de potássio no solo concorrem para aumentar a adsorção de boro e constataram também, que com baixas concentrações de boro no solo houve menor adsorção, porém com maior energia. Constatou-se que em baixas concentrações de boro no solo a aplicação de potássio causou aumento nos sintomas de deficiência desse elemento em plantas, os quais foram acompanhados por redução do boro absorvido (48, 84).

Em um experimento com milho, envolvendo variações em níveis de vários nutrientes, incluindo boro, com uma população de 70 a 80 mil plantas.ha⁻¹, observaram efeitos benéficos do boro sobre a produção de grãos, sugerindo que aplicações de boro podem ser necessárias quando se intensifica o uso de práticas de aumento de produtividade associado a pesadas adubações com potássio. Na cultura do milho, enquanto alguns trabalhos mostram para níveis moderados de população de plantas (cerca de 37 a 50 mil plantas.ha⁻¹) o boro pode não ser limitante, outros apresentam significativas respostas a este micronutriente, mesmo com níveis de população e de produção considerados moderados. Trabalhos mostraram que doses elevadas de boro reduziram a produção de grãos em culturas com populações de 40 a 50 mil plantas.ha⁻¹, mas aumentaram as produções em culturas com populações de 80 a 90 mil plantas.ha⁻¹. Isto ilustra o estreito limite entre os níveis de toxicidade e de deficiência de boro para a cultura de milho (98).

Trabalhos demonstram a ação pronunciada do boro na formação de espigas na cultura do milho; a interrupção no fornecimento de boro conduziu à má formação e ao atrofiamento das espigas, além de falhas na granação (70). No Brasil, trabalhos envolvendo boro na cultura do milho não apresentaram respostas à aplicação deste micronutriente. Pesquisadores observaram ausência de correlação entre teor foliar de boro e a produção de grãos em experimentos conduzidos em dois locais diferentes (35, 36).

2.1.1.2 Nitrogênio

O nitrogênio é absorvido em grandes quantidades pelo milho, nas formas de amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-), e a quantidade absorvida de cada forma do nutriente depende da idade da planta, plantas mais jovens absorvem mais rapidamente amônia em relação ao nitrato e plantas mais velhas absorvem grande parte do nitrogênio na forma de nitrato que normalmente corresponde a mais de 90% do total do nitrogênio absorvido. O milho pode potencialmente usar todo o nitrogênio disponível no solo, e quando o nitrogênio não é fator limitante, a produtividade máxima é limitada por outros fatores (5).

Trabalhos demonstram que ausência de nitrogênio ou o emprego de baixas doses desse elemento, mesmo em solos férteis resultam em prejuízos significativos no IAF (Índice de Área Foliar) e no tamanho da espiga, com conseqüente reflexo na produtividade da cultura (30).

A maior parte do nitrogênio dos solos está na forma orgânica, e para que este nitrogênio esteja disponível é necessário que ocorra primeiramente a mineralização da matéria orgânica. Em geral se assume que essa contém em torno de 5% de nitrogênio.

Além da produtividade a adubação nitrogenada melhorou também a qualidade dos grãos de milho em conseqüência do aumento nos teores de proteína e dos nutrientes minerais P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (33). Para uma produção de $9.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de grãos de milho são necessários de 190 a 224 kg de nitrogênio, 39 kg de fósforo e de 164 a 196 kg de potássio (13, 77).

O sistema radicular do milho é capaz de absorver nutrientes durante toda a vida da planta, porém a absorção declina no final do ciclo, que corresponde ao enchimento de grãos e à medida que começa a senescência das folhas inferiores.

A resposta em rendimento do milho à adubação nitrogenada é geralmente positiva e linear para altas doses quando se compara a outras culturas. Resultados experimentais conduzidos no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo mostram resposta generalizada do milho a adubação nitrogenada (15, 34, 58, 63), em geral 70 a 90% dos ensaios de adubação com milho realizadas a campo no Brasil, respondem a aplicação de nitrogênio.

Diferente do que ocorre com os outros macronutrientes primários, a análise de solo não fornece parâmetros seguros para prever as respostas à aplicação de nitrogênio. Embora se calcule que pelo menos metade do nitrogênio absorvido pela planta de milho provenha do solo em culturas adubadas com até cerca de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (93), não há métodos seguros para avaliar a contribuição do solo. Em solos de boa fertilidade ou devidamente corrigidos, o nitrogênio, que normalmente não se acumula em formas prontamente disponíveis no solo, é que controla os níveis de produtividade do milho. Por isso, um dos critérios mais comuns para se estabelecer doses de adubo nitrogenado baseia-se na expectativa de produção. A magnitude das respostas a nitrogênio em ensaios conduzidos no Brasil tem sido variável, mas a maioria dos estudos indica respostas significativas a doses entre 30 a $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio. No entanto, não são incomuns os casos de respostas a até $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrogênio (33, 40, 67).

2.1.1.3 Potássio.

O potássio é o único cátion monovalente indispensável para todos os organismos vivos, é absorvido em grandes quantidades pelas plantas, mais que os outros elementos exceto para o nitrogênio com raras exceções, e o nível ótimo nas plantas, depende da idade fisiológica da planta. O potássio não é um constituinte de componentes importantes das plantas como protoplasma, ácidos graxos ou celulose, mas ele é muito importante para os processos fisiológicos das plantas. Entretanto, determina diretamente o crescimento e a produtividade. A fotossíntese diminui e a respiração aumenta com a deficiência de potássio (5, 92).

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento absorvido em maiores quantidades pela cultura do milho. No entanto, as respostas a potássio obtidas em ensaios de campo com milho tem sido, em geral, menos freqüentes e mais modestas que aquelas observadas para fósforo e nitrogênio. Em levantamentos feitos de ensaios com milho em vários Estados Brasileiros os dados indicam que apenas 26% deles reagiram à adição de potássio. Em outra revisão sobre o assunto observou-se que respostas significativas, estas geralmente ocorreram até $40\text{-}60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K_2O . Aumentos relevantes de produção devido à adição de potássio só

foram observados para solos com teores muito baixos deste nutriente.(2, 62, 83, 94).

As recomendações de adubação com potássio levam basicamente em conta a exportação deste elemento quando os teores contidos nos solos forem adequados, e no caso de solos com baixos teores de potássio se recomenda fazer a aplicação para satisfazer a exportação mais uma quantia para corrigir o teor do solo até pelo menos nível médio de interpretação. Em trabalho realizado em casa de vegetação o potássio proporcionou ganhos até os teores de $1,5 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ no solo (3).

3. METODOLOGIA

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2001/02, em área cultivada sob plantio direto na palha há 9 anos, na Fazenda Ônix, na localidade denominada Guaricanga, no município de Pirai do Sul, PR, localizado nas coordenadas de 24° 22' 35" de latitude sul, 50° 03' 55" de longitude oeste e altitude de 1038 m acima do nível do mar. A fazenda situa-se no segundo planalto, região dos Campos Gerais, formada no Período Carbonífero com rochas pertencentes ao grupo Tubarão da formação Itararé (28).

A gleba do experimento seguia um programa de rotação de culturas conforme Tabela 2. A propriedade tinha como programa de rotação de culturas, cultivar no inverno metade da área com culturas que produziam receita como o trigo e o triticale, e no verão cultivar 25% da área com milho e 75% da área com soja, sendo que parte da soja poderia ser substituída por feijão até no máximo de 20% da área da propriedade.

Tabela 2 – Seqüência de rotação de culturas da área experimental, Fazenda Ônix, Pirai do Sul, PR, 2001

		Safr																	
		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001	
In*	Ve	In	Ve	In	Ve	In	Ve	In	Ve	In	Ve	In	Ve	In	Ve	In	Ve	In	Ve
Av	So	Tr	So	Av	So	Tt	So	Av	Mi	Tt	So	Av	Fe	Tr	So	Av	Mi		

* In: Inverno, Ve: Verão, Av: Aveia Preta, Tr: Trigo, Tt: Triticale, So: Soja, Mi: Milho, Fe: Feijão

3.2. SOLO

O solo do local onde se instalou o experimento foi caracterizado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média, epieutrófico, fase campo subtropical, relevo suave ondulado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (1999).

Foram coletadas amostras de solo dos três blocos em quatro profundidades, cada amostra foi constituída de 10 sub-amostras, duas em cada parcela, as quais foram analisadas para características químicas e físicas. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

3.3. CLIMA

A propriedade onde se desenvolveu a pesquisa esta inserida numa região de Clima Cfb, segundo classificação de KÖEPPEN, ou seja, temperado propriamente dito, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida, Figura 1 (21).

Figura 1 – Classificação climática do Paraná segundo Köppen.

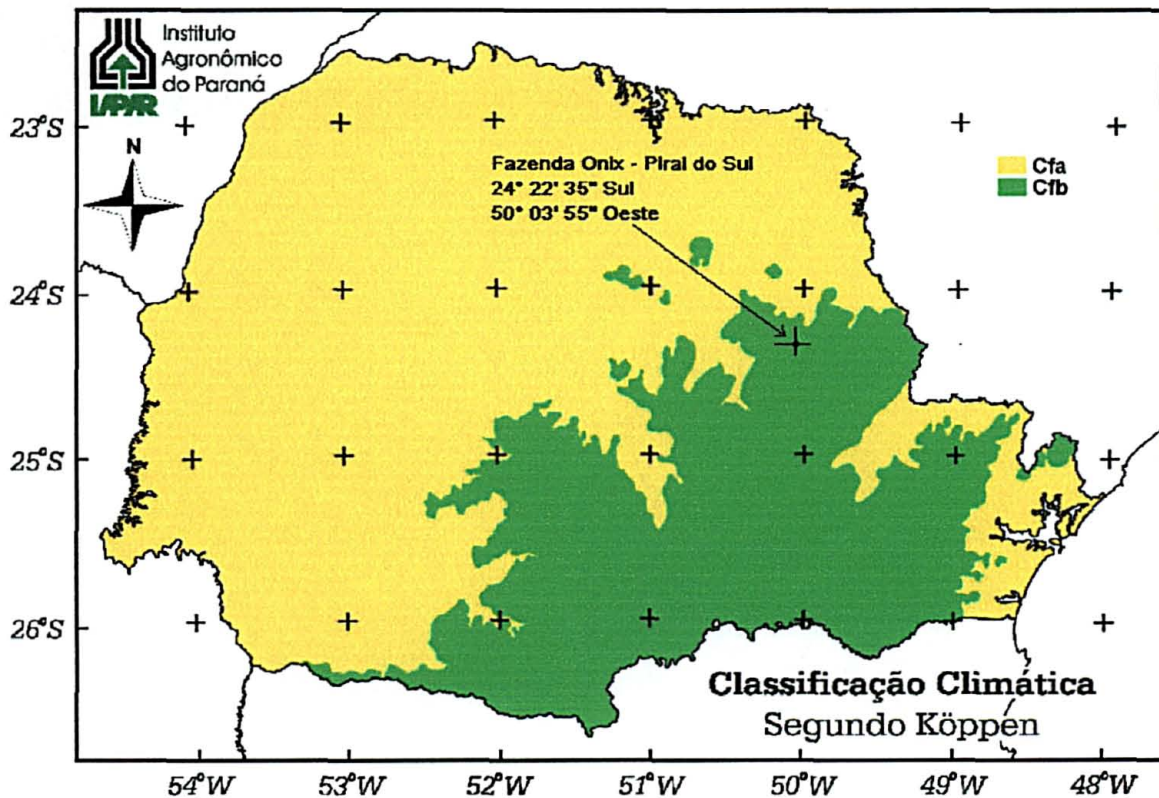


Tabela 3 – Resultado das análises do solo da área experimental, em camadas de 00-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-40 cm, Fazenda Ônix, Piraí do Sul, PR, 2001.*

* Análises realizadas no Laboratório de Solos e Plantas da Fundação ABC, Castro, PR.

** Extraído pelo método de Resina Extratora.

Amost.	Prof. cm	P ^{**} mg.dm ⁻³	M.O. g.dm ⁻³	pH CaCl ₂	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte g.kg ⁻¹	Areia
							mmolc.dm ⁻³					%		mg.dm ⁻³							
Bl. 1	00-10	115	33	5,2	42	0	2,1	34	14	50,1	92,1	54	0,0	0,24	1,2	76	7,4	0,8	262	96	642
	10-20	79	30	4,9	52	2	1,1	16	8	25,1	77,1	33	7,4	0,19	1,4	86	2,6	1,0	303	75	622
	20-30	10	30	4,5	64	8	0,9	6	4	10,9	74,9	15	42,3	0,19	1,6	88	1,2	0,2	313	95	592
	30-40	2	25	4,3	64	9	0,6	4	3	7,6	71,6	11	54,2	0,15	1,6	69	0,8	0,2	325	89	586
Bl. 2	00-10	108	37	5,0	52	1	2,5	33	15	50,5	102,5	49	1,9	0,22	1,0	75	6,6	0,8	260	98	642
	10-20	66	27	4,7	58	3	1,2	15	7	23,2	81,2	29	11,5	0,19	1,2	79	2,2	0,2	290	75	635
	20-30	8	26	4,5	58	7	1,1	8	5	14,1	72,1	20	33,2	0,16	1,6	79	1,0	0,2	291	84	625
	30-40	2	23	4,4	64	7	0,9	4	3	7,9	71,9	11	47,0	0,15	1,4	61	0,8	0,1	316	89	595
Bl. 3	00-10	114	35	5,2	42	0	2,0	34	15	51,0	93,0	55	0,0	0,19	0,8	66	5,8	0,6	248	103	649
	10-20	63	29	4,9	52	2	1,2	16	8	25,2	77,2	33	7,4	0,13	1,2	79	2,0	0,2	277	77	646
	20-30	10	24	4,5	58	7	1,1	7	5	13,1	71,1	18	34,8	0,13	1,4	76	1,0	0,2	300	78	622
	30-40	2	22	4,3	58	7	0,9	4	3	7,9	65,9	12	47,0	0,13	1,4	63	0,8	0,1	315	86	599

3.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso disposto em parcelas subdivididas com três repetições. As parcelas foram constituídas por cinco doses de boro, 0; 0,5; 1; 2 e 4 kg.ha⁻¹, aplicadas no sulco de semeadura na forma de Borogran 10 (10% de B) juntamente com a adubação no sulco de semeadura. As sub-parcelas receberam 3 doses de nitrogênio (0, 100 e 200 kg.ha⁻¹ de N) e três doses de potássio (0, 90 e 180 kg.ha⁻¹ de K₂O) em cobertura. Foi utilizado Nitrato de Amônio como fonte de nitrogênio (32% de N) e Cloreto de Potássio como fonte de potássio (60 % de K₂O). A combinação dos tratamentos acima mencionados resultaram num total de 45 tratamentos distribuídos em 135 parcelas (Anexo 11).

As unidades experimentais foram constituídas de seis fileiras de plantas, espaçadas em 0,80 m, com 7 m de comprimento. Das seis fileiras quatro foram utilizadas para avaliações, sendo que as duas fileiras centrais para a avaliação do rendimento de grãos (1,6 m x 5 m de comprimento) totalizando 8 m², as duas laterais, para coleta de amostras para análise de tecidos, pela coleta de vinte folhas de cada parcela e as duas fileiras externas da parcela serviram como “bordadura” entre parcelas e foram descartadas. O experimento foi circundado com lavoura comercial para evitar interferências de bordaduras (Anexo 9 e10).

3.5. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

3.5.1. Semeadura

A semeadura foi realizada no dia 19 de setembro de 2001, mecanicamente, com semeadeira de 6 linhas espaçadas de 0,8 m, equipada com sistema de dedos para a distribuição de sementes. Buscou-se a obtenção de 5,2 plantas por metro linear em média, com a intenção de se obter população inicial de 65.000 plantas por hectare. Foi utilizado o híbrido triplo Ag 6018, de ciclo superprecoce, porte médio e grãos duros de cor amarela, recomendado para produção de grãos. A emergência do milho se deu aos 6 (seis) dias após a semeadura.

3.5.2. Adubação

A adubação de base foi igual para todos os tratamentos, aplicada em sulco próximo a semente no dia do plantio, com a aplicação de 39 kg.ha^{-1} de nitrogênio (N), 84 kg.ha^{-1} de fósforo (P_2O_5) e 24 kg.ha^{-1} de potássio (K_2O) e 3 kg.ha^{-1} de zinco (Zn), acrescida das doses de boro conforme os tratamentos. O boro foi misturado ao adubo manualmente com o auxílio de uma pá sobre piso de cimento e se teve as devidas precauções para que o adubo contendo o boro não segregasse do restante da formulação. As adubações de cobertura com nitrogênio e potássio foram aplicadas manualmente no dia 26 de setembro de 2001, quando as plantas tinham 1 (um) dia de emergência. A aplicação da adubação em cobertura em época precoce se baseia na prática comum na região e em dados obtidos por PAULETTI (2001), que sugere que a adubação em cobertura pode ser feita desde pré-plantio até 4 folhas totalmente expandidas, e tal procedimento também foi utilizado em outros experimentos sem que ocorram perdas de produtividade devido à época de aplicação (11, 19, 25, 78, 80). As fontes utilizadas para a adubação em cobertura foram Nitrato de amônia (NO_3NH_4 – 32% de N) e Cloreto de Potássio (KCl – 60% K_2O). A razão de se utilizar o Nitrato de Amônia como fonte de nitrogênio, se deve ao fato da não volatilização do nitrogênio desta fonte, permitindo assim, que a aplicação fosse feita sem levar em conta as condições de clima.

3.5.3. Controle de plantas daninhas e manejo da cultura anterior

A aveia preta foi dessecada com 40 dias de antecedência ao plantio, aplicando-se 960 g ia.ha^{-1} de glifosate e 20 dias após a dessecação a aveia foi rolada. Dois dias após a semeadura, as plantas daninhas que emergiram após a primeira dessecação foram controladas com 720 g ia.ha^{-1} de glifosate.

O controle das plantas daninhas após a emergência do milho foi feito com herbicidas pós-emergentes de modo seqüencial, com duas aplicações de nicosulfuron juntamente com atrazina nas doses de 0,12 e $1,2 \text{ kg ia.ha}^{-1}$ respectivamente, aos 25 e 36 dias após a emergência da cultura.

3.5.4. Controle de pragas

Juntamente com a dessecação da aveia (40 dias antes do plantio) foi realizado o controle de lagartas com a aplicação de lambda-cyhalothrin 7,5 g ia.ha⁻¹.

Aos 36 dias após a emergência das plantas foi realizado o controle preventivo da Lagarta do Cartucho (*Spodoptera frugiperda*) por meio da aplicação do inseticida lufenuron 15 g ia.ha⁻¹, juntamente com a segunda aplicação de herbicida.

3.5.5. Colheita

A colheita do experimento foi feita manualmente no dia 11 de março de 2002, colhendo-se as espigas de 8 m² por parcela útil, que foram posteriormente debulhadas em máquina estacionária.

3.6. AVALIAÇÕES

3.6.1. Estatura da planta (EstPI)

A estatura das plantas foi medida em centímetros, de 10 plantas por parcela nas duas linhas centrais da parcela útil (cinco plantas em cada uma delas). As plantas foram medidas sequencialmente, com o auxílio de uma régua topográfica colocada ao nível do solo, junto ao colo das plantas até a base da inflorescência.

3.6.2. Altura de inserção da primeira espiga (InsEs)

A altura de inserção da primeira espiga foi medida em centímetros, nas mesmas plantas utilizadas para a medida de estatura de plantas. Da mesma forma, com a régua topográfica, foram tomadas as medidas, desde o nível do solo até o ponto de inserção da primeira espiga no colmo.

3.6.3. Diâmetro do colmo (DiaCo)

O diâmetro do colmo foi medido em milímetros com o auxílio de um paquímetro, aproximadamente no centro do primeiro entrenó acima do solo, nas mesmas plantas que foram utilizadas para determinar a estatura de plantas.

3.6.4. Plantas por parcela

Na colheita foram contadas todas as plantas por parcela útil, independentemente das plantas possuírem espigas formadas ou não. Com estes valores, foi calculada a população final estimada, em plantas por hectare (POP), por meio de regra de três simples.

3.6.5. Espigas por parcela

Na colheita foram contadas as espigas com grãos por parcela útil. Com estes valores, foi calculado o número médio de espigas por hectare (Esp), e também o número de espigas por planta - prolificidade (Prol).

3.6.6. Rendimento de grãos (PG)

Para a avaliação do rendimento de grãos foram colhidas todas as espigas com grãos da parcela útil. Estas foram debulhadas mecanicamente e pesadas. Para a estimativa de rendimento final por hectare, foi utilizada regra de três simples, após conversão dos pesos para a umidade de 13% através da fórmula abaixo:

$$PF = \frac{100 - UA}{100 - UD} \times PP, \text{ onde:}$$

PF = peso final da parcela a 13% de umidade;

UA = umidade das sementes na colheita;

UD = umidade desejada e

PP = peso da parcela na umidade original.

3.6.7. Massa de mil grãos (MMG)

Após a colheita e debulha das espigas, as amostras foram homogeneizadas e destas retiradas sub-amostras para determinação do peso de mil grãos, este peso foi corrigido para a umidade de 13%.

3.6.8. Teor foliar de boro (BFol), nitrogênio (NFol), e potássio (KFol)

No dia 19 de dezembro de 2001 quando o milho se encontrava em plena floração com o aparecimento da inflorescência feminina, foram coletadas 20 folhas na segunda linha em ambos os lados da parcela experimental. A folha coletada foi a primeira folha oposta logo abaixo da espiga, e desta, foi enviada para análise apenas o terço médio.

3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os resultados de campo e de laboratório foram analisados estatisticamente pelo programa MSTAT – C, conforme manual de instruções descrito por KOEHLER (1996). Também foram feitas pelo mesmo programa as análises de variâncias e o teste de BARTLETT, para verificação da homogeneidade, além do teste de classificação de médias onde se adotou o de DUNCAN, ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O clima no decorrer do experimento foi adequado ao milho, conforme pode ser visto na Figura 2 o período de desenvolvimento da cultura do milho foi de chuvas regulares sem longos períodos de dias sem chuva fato que refletiu na produtividade média de grãos da cultura de milho que foi de 10.468 kg.ha⁻¹ na área experimental e de 9.330 kg.ha⁻¹ na lavoura comercial que circundava o experimento.

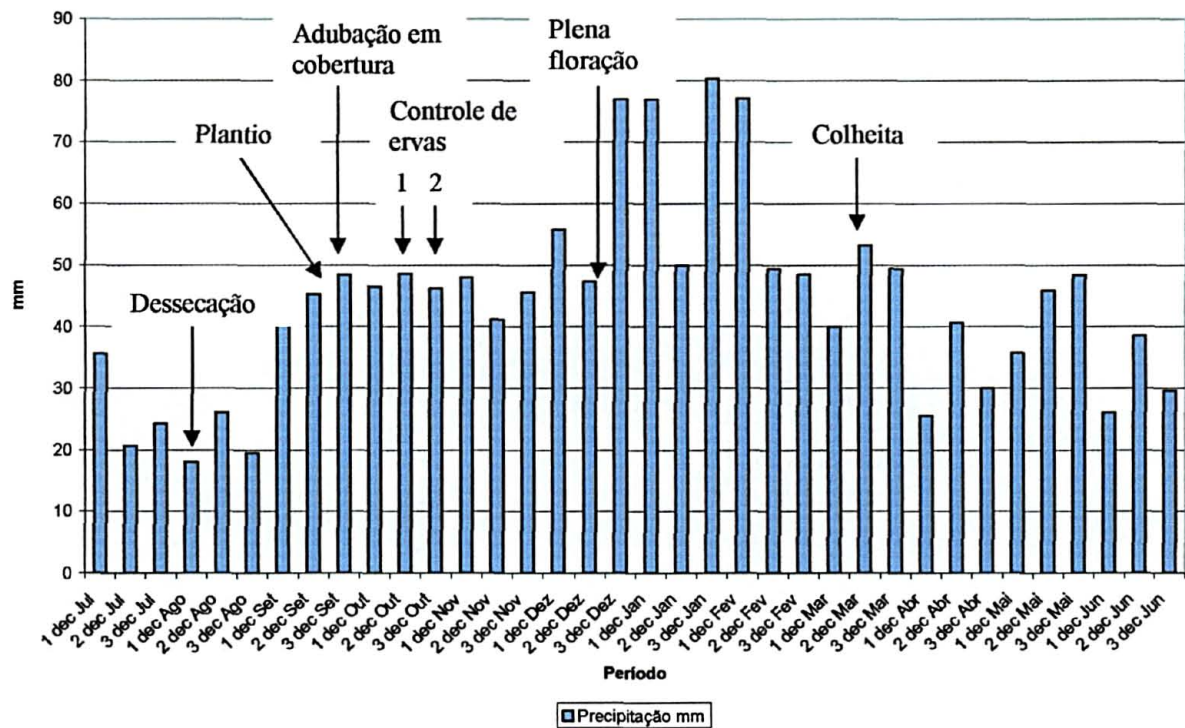


Figura 2 – Distribuição da precipitação pluvial por decêndio na Fazenda Ônix, Pirai do Sul, PR, 2001/02.

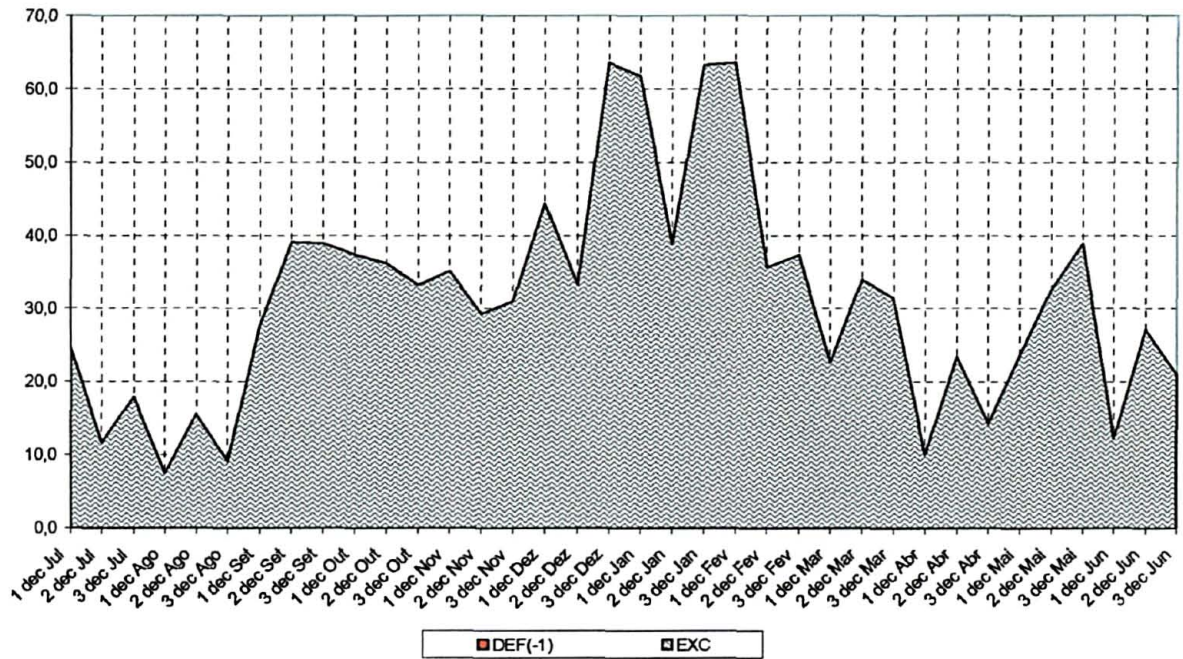


Figura 3 – Balanço hídrico por decêndio na Fazenda Ônix, Pirai do Sul, PR, 2001/02.

4.1. RENDIMENTO DE GRÃOS

Os resultados obtidos demonstram, que a aplicação de boro na cultura de milho levou a uma pequena tendência de aumento na produção de grãos (3,7%) conforme Tabela 8, e segundo o teste F não influenciou significativamente a produção (Tabela 4), resultado semelhante foi alcançado também por SOARES (2003), em condições de solo diferente, apesar do solo do experimento apresentar teores de boro considerados médios ($0,21 - 0,6 \text{ mg.dm}^{-3}$) conforme RAIJ et al (1996), nos primeiros 10 cm de solo e baixos ($0 - 20 \text{ mg.dm}^{-3}$) de 10 a 40 cm. Esta não resposta a aplicação de boro provavelmente, se deve ao fato de que o solo aonde se realizou o experimento apresentava bons níveis de matéria orgânica, que como se sabe, é a principal fonte de boro nos solos, fato demonstrado em outros trabalhos sobre a existência de correlação positiva e significativa entre teor de matéria orgânica e teor de boro solúvel em água quente (12, 51). Além disto as condições climáticas com chuvas regulares e sem período de déficit hídrico proporcionaram condições favoráveis para a decomposição do material orgânico

presente no solo e da matéria orgânica liberando assim o boro para o aproveitamento das plantas.

Tabela 4 – Valores de F e significância obtida na análise de variância para as variáveis analisadas.

Fonte de Variação	Valores de F e Nível de significância					
	PG	Pop	Esp	Prol	GEsp	MMG
Bloco	0,2555 ^{ns}	12,398 ^{**}	2,9154 ^{ns}	0,4722 ^{ns}	2,2788 ^{ns}	0,6541 ^{ns}
B	0,3449 ^{ns}	9,0326 [*]	1,7355 ^{ns}	1,3533 ^{ns}	0,6946 ^{ns}	0,2512 ^{ns}
N	3,5301 [*]	0,5569 ^{ns}	0,8545 ^{ns}	0,4559 ^{ns}	4,4486 [*]	5,1203 ^{**}
BxN	1,2024 ^{ns}	0,6032 ^{ns}	0,7750 ^{ns}	1,4591 ^{ns}	0,6743 ^{ns}	1,9163 ^{ns}
K	0,5961 ^{ns}	0,2997 ^{ns}	0,1004 ^{ns}	0,4939 ^{ns}	3,3575 [*]	1,9639 ^{ns}
BxK	0,6076 ^{ns}	1,2903 ^{ns}	1,1585 ^{ns}	0,6072 ^{ns}	1,0671 ^{ns}	0,9194 ^{ns}
NxK	0,3645 ^{ns}	0,5337 ^{ns}	0,1643 ^{ns}	0,7669 ^{ns}	0,6883 ^{ns}	0,2591 ^{ns}
BxNxK	0,8334 ^{ns}	0,6220 ^{ns}	0,6835 ^{ns}	0,8764 ^{ns}	1,0007 ^{ns}	0,7868 ^{ns}
Cv (%)	8,98	6,69	6,93	3,34	6,63	3,85

^{*} Significativo (p < 0,05) pelo teste F, ^{**} Significativo (p < 0,01) pelo teste F, ^{ns} Não significativo.

PG – Rendimento de grãos, Pop - População de plantas, Esp - Número de espigas por hectare, Prol – Prolificidade, GEsp – Grãos por espiga e MMG - massa de mil grãos.

Devido às doses utilizadas de boro no sulco de semeadura terem atingido 4 kg.ha⁻¹ para a maior dose, especulava-se da possibilidade da ocorrência de sintomas de fitotoxicidade provocada pelo nutriente, o que não ocorreu em avaliação visual feito nas parcelas, provavelmente pelas condições climáticas ocorridas no período terem sido bastante favoráveis e também pela boa distribuição feita do nutriente ao longo do sulco de adubação não tendo assim locais no sulco de adubação com níveis extremamente elevados de boro.

Outro fator devido ao qual poderia se esperar alguma resposta é o fato do solo ser classificado como de textura média, com uma média de 62,1% de areia, o que não ocorreu, provavelmente devido à boa distribuição do boro no solo mesmo em níveis considerados baixos a médios e as boas condições climáticas as quais proporcionaram um bom desenvolvimento radicular e assim condicionando a um grande volume de solo explorado pelas raízes do milho, suprimindo assim adequadamente a cultura para uma boa produção de grãos.

Conforme trabalhos já publicados respostas à aplicação de boro em milho ocorreram em condições de maior população de plantas 70 a 80 mil pl.ha⁻¹, maiores que os utilizados neste trabalho em torno de 58.000 pl.ha⁻¹ que também diferiu de situação com populações mais baixas 40 a 50 mil onde se observou efeitos tóxicos do nutriente aplicado, o que poderia justificar a não resposta no presente trabalho, talvez respostas poderiam ser esperadas com populações maiores das que as utilizadas, provavelmente a quantia disponível de boro foi o suficiente para suprir a produção de matéria seca total de milho.

Esperava-se que a interação do boro com a aplicação de altas doses de nitrogênio e potássio em cobertura provocassem respostas positivas, já que outras culturas apresentaram tal comportamento como foi o caso do algodão e dos citrus (14, 47, 48, 53, 57, 84, 90, 99). Tal resposta do milho deve estar ligada ao fato de que esta cultura tem baixo requerimento em boro como citado por MORTVEDT e WOODRUFF (1993).

Quanto ao nitrogênio, os resultados demonstram claramente a importância deste para o aumento da produção de grãos na cultura do milho, uma vez que o nitrogênio teve influência significativa sobre o rendimento de grãos (PG) (Tabela 4). Como podemos observar nos resultados o aumento de produtividade ocorreu principalmente devido ao aumento do número de grãos por espiga e pelo aumento da massa de mil grãos. Avaliando os dados da Tabela 6, podemos ver que a aplicação da maior dose de nitrogênio (200 kg.ha⁻¹) proporcionou aumento de 5% na produção de grãos em relação a menor dose. Este aumento em relação à dose de zero nitrogênio em cobertura, mesmo que significativo pelo teste F não foi elevado, o qual se deve provavelmente, as boas condições de clima ocorridas durante o ensaio, pelo bom nível de matéria orgânica presente no solo, pela aplicação de 39 kg.ha⁻¹ de nitrogênio no sulco de plantio, pelo sistema de rotação de culturas utilizado onde se planta durante 3 anos soja e feijão culturas que tem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e também recebem adubação nitrogenada caso do feijão, a utilização de culturas para adubação verde como a aveia preta que foi neste caso dessecada com boa antecedência liberando assim o nitrogênio por ela assimilada durante o ciclo do milho quando este era mais necessário, desta forma todos estes fatores conjugados juntamente com condições climáticas favoráveis proporcionaram quantidade de nitrogênio suficiente para a manutenção da produtividade estável entre as doses

aplicadas. Resultados semelhantes também foram alcançados por PAULETTI (2000) e DA ROS (2003), que também obtiveram altas produções de milho sem a aplicação de nitrogênio em cobertura em situações de solo de textura média ou argilosa, com altos teores de matéria orgânica e boa distribuição de chuvas. Por outro lado resultados com respostas significativas à aplicação de nitrogênio, em milho também foram alcançadas por diversos outros pesquisadores, e confirma a grande capacidade do milho em responder em produção à aplicação de nitrogênio (4, 25, 31, 33, 61, 65, 67, 79, 80).

Para a aplicação de potássio, não houve diferença significativa a diferentes doses em cobertura. Tais resultados confirmam dados já publicados, que apresentaram a mesma resposta, onde devido aos teores de potássio de médio para alto não proporcionaram respostas à aplicação deste nutriente, no entanto foram verificadas respostas positivas em solos com teores baixos de potássio (5, 87, 95).

4.2. COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Os valores apresentados na Tabela 4 demonstram que o número de espigas por hectare não foi influenciado por nenhum dos tratamentos isoladamente, ou pela interação entre os tratamentos. A população de plantas foi influenciada significativamente pela aplicação de boro, conforme Tabela 4, sendo que nas maiores doses foram verificadas as maiores populações de plantas (Tabela 8). Não foram encontradas citações, que comparassem população com doses de boro. Tal fato poderia indicar que a aplicação deste microelemento em milho provocaria maior sobrevivência de plantas, desde a emergência à colheita, mas como a população avaliada foi a final, na data da colheita, fica difícil qualquer afirmação, devido ao fato de que a população inicial de plantas não foi avaliada, impossibilitando a comparação entre elas, uma vez que poderia a aplicação de boro influenciar a emergência das plantas.

Com relação à prolificidade, termo utilizado para designar o número de espigas por planta, nenhum dos tratamentos aplicados mostrou influência significativa, tanto os tratamentos isolados quanto as suas combinações. Tal fato pode ser explicado por esta característica ter forte dependência principalmente do genótipo e também do ambiente (disponibilidade de recursos por planta), sendo

particularmente importante as condições durante a floração e o período que a antecede (1). A prolificidade é um item não procurado nos híbridos modernos, os quais procuram ter uma só espiga de bom tamanho, devido ao fato de nem sempre existir boa correlação entre produção de grãos e prolificidade (91). Este resultado discorda dos encontrados por FERREIRA (1997) e SOARES (2003), que encontraram resposta positiva ao aumento de espigas por planta com a aplicação de nitrogênio.

A definição do número de grãos por espiga ocorre durante o período de florescimento, após a exteriorização da panícula e dos estigmas da espiga, sendo muito influenciada pelo fluxo de fotoassimilados que ocorre durante este período. Quando não limitado por outros fatores, a maior disponibilidade de nitrogênio aumenta o potencial da planta em diferir maior número de grãos por espiga. Segundo KARLEN et al. (1988), existem dois picos de absorção de nitrogênio pela planta de milho: o primeiro, no período vegetativo, e o segundo, no enchimento de grãos, quando são determinados o número final e o tamanho de grãos (49, 54). A quantidade de grãos por espiga foi influenciada pela aplicação de nitrogênio e também pela aplicação de potássio em cobertura (Tabela 5). A aplicação de nitrogênio aumentou o número de grãos por espiga (Tabela 6), sendo a maior dose significativamente diferente da dose zero em cobertura, resultado que corrobora com o observado por BORTOLINI et al. (2001) e SOARES (2003) (11, 91).

A massa de mil grãos foi influenciada pela aplicação de nitrogênio e o efeito foi muito significativo pelo teste F ($p < 0,01$), conforme podemos observar na Tabela 4, a aplicação de nitrogênio causou um aumento da MMG em relação à aplicação zero independentemente da dose aplicada, sendo o resultado das duas doses aplicadas semelhantes entre si. O mesmo resultado foi alcançado por outros autores, aonde se obteve resposta significativa à aplicação de nitrogênio para MMG em relação à não aplicação (11, 33, 67, 79, 80, 86).

4.3. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Os valores apresentados na Tabela 5 mostram que somente o nitrogênio exerceu influência significativa sobre as características morfológicas analisadas, estatura de planta (EstPI), altura de inserção de espiga (InsEs) e diâmetro do colmo

(DiaCo). Nos três itens avaliados a aplicação de nitrogênio em cobertura conforme se observa na Tabela 9 foi superior ao tratamento sem nitrogênio em cobertura. Resultados similares foram obtidos por outros pesquisadores (65, 80, 86, 91).

4.4. TEORES FOLIARES DE BORO, NITROGÊNIO E POTÁSSIO

Os teores foliares de boro não foram significativamente influenciados pela aplicação de boro, nitrogênio, potássio ou pela interação dos mesmos (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores de F e significância obtida na análise de variância para as variáveis analisadas.

Fonte de Variação	Valores de F e Nível de significância					
	EstPI	InsEs	DiaCol	BFol	NFol	KFol
Bloco	0,7075 ^{ns}	0,4747 ^{ns}	1,1050 ^{ns}	6,0311 [*]	1,4830 ^{ns}	1,5864 ^{ns}
B	0,2796 ^{ns}	0,3247 ^{ns}	0,3247 ^{ns}	1,2664 ^{ns}	3,7872 ^{ns}	0,2518 ^{ns}
N	4,6772 [*]	6,1583 ^{**}	5,1644 ^{**}	1,6562 ^{ns}	19,464 ^{**}	9,7229 ^{**}
BxN	1,1258 ^{ns}	0,7434 ^{ns}	1,5293 ^{ns}	0,3929 ^{ns}	1,5542 ^{ns}	2,6743 [*]
K	0,3796 ^{ns}	0,8133 ^{ns}	0,3598 ^{ns}	0,8602 ^{ns}	0,5539 ^{ns}	13,802 ^{**}
BxK	0,7747 ^{ns}	0,6799 ^{ns}	1,3643 ^{ns}	1,4107 ^{ns}	0,5506 ^{ns}	0,4021 ^{ns}
NxK	0,9344 ^{ns}	0,4725 ^{ns}	0,9822 ^{ns}	0,1759 ^{ns}	0,6095 ^{ns}	1,7391 ^{ns}
BxNxK	0,6181 ^{ns}	0,7975 ^{ns}	0,6787 ^{ns}	1,7700 ^{ns}	0,3787 ^{ns}	1,2101 ^{ns}
Cv (%)	3,55	6,76	5,49	16,78	5,07	4,52

^{*} Significativo (p < 0,05) pelo teste F, ^{**} Significativo (p < 0,01) pelo teste F, ^{ns} Não significativo.

EstPI - Estatura de plantas, InsEs - Altura de Inserção da espiga, DiaCo - Diâmetro do colmo, BFol - Teor foliar de boro, NFol - Teor foliar de nitrogênio e KFol - Teor foliar de potássio.

Esperava-se conforme a hipótese formulada, que com a aplicação de boro no sulco de plantio os teores foliares de boro também tivessem um incremento o que não ocorreu (Tabela 11), e também se suspeitava da possibilidade de que altas doses de nitrogênio, potássio ou ambos pudessem causar um decréscimo nos teores de boro no tecido foliar e em consequência deprimir a produção de grãos, o que não se verificou (Tabelas 11 e 12), fato que acontece em outras culturas (14, 22, 47, 53, 57, 93, 99). Provavelmente, os teores foliares de boro, que foram atualmente usados como referência, estejam incorretos para o cultivo de milho em sistema de plantio

direto na palha consolidado há vários anos, já que as produtividades alcançadas foram bastante altas. Os valores atualmente utilizados que recomendam um teor de boro na folha entre 10 e 25 mg.kg⁻¹ conforme RAIJ et al (1996) concordam com MELSTED et al (1969) citados por ARNON (1975) e também por GUPTA (1993), que cita como nível crítico 10 mg.kg⁻¹ de matéria seca, mas BARBER e OLSON (1968) também citados por ARNON (1975) sugerem que os teores adequados de boro no tecido foliar estejam entre 4 e 20 mg.kg⁻¹ de matéria seca, esta indicação é mais adequada aos resultados do presente trabalho mesmo sendo determinados em condições diferentes. Os resultados alcançados sugerem que serão necessários novos estudos para determinar os teores foliares de boro adequados para as condições atuais de cultivo onde se utiliza o plantio direto na palha, híbridos de milho mais modernos e produtivos e o uso intensivo de insumos.

Tabela 6 – Teste de classificação de médias para a produtividade de grãos (PG), população de plantas (Pop), número de espigas por hectare (Esp), prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp) e massa de mil grãos (MMG), submetidas a três doses de nitrogênio.

Tratamento	PG	Pop	Esp	Prol	GEsp	MMG
N kg.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	Pl.ha ⁻¹	Esp.ha ⁻¹	Esp.pl ⁻¹	grãos	G
0	10.170 b*	58.330 a	58.360 a	1,001 a	514,5 b	339,5 b
100	10.550 ab	57.890 a	57.560 a	0,9944 a	529,1 ab	346,7 a
200	10.680 a	57.470 a	57.310 a	0,9971 a	536,0 a	347,7 a
DMS	394,6	1.624	1.679	0,0133	14,65	5,57

* nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN.

Os teores foliares de nitrogênio foram significativamente influenciados pela aplicação de doses de nitrogênio, e somente foi diferente da testemunha (sem nitrogênio em cobertura), como pode ser observado na Tabela 9, este resultado concorda com resultados encontrados em outros trabalhos publicados (19, 79, 80, 82).

Tabela 7 – Teste de classificação de médias para a produtividade de grãos (PG), população de plantas (Pop), número de espigas por hectare (Esp), prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp) e massa de mil grãos (MMG), submetidas a três doses de potássio.

Tratamento K kg.ha ⁻¹	PG kg.ha ⁻¹	Pop Pl.ha ⁻¹	Esp Esp.ha ⁻¹	Prol Esp.pl ⁻¹	GEsp grãos	MMG G
0	10.430 a [*]	57.640 a	57.530 a	0,9982 a	527,1 ab	344,3 a
90	10.380 a	57.810 a	57.810 a	1,001 a	516,7 b	347,6 a
180	10.590 a	58.250 a	57.890 a	0,9938 a	535,8 a	342,1 a
DMS	394,6	1.624	1.679	0,0133	14,65	5,57

* nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN.

Tabela 8 – Teste de classificação de médias para a produtividade de grãos (PG), população de plantas (Pop), número de espigas por hectare (Esp), prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp) e massa de mil grãos (MMG), submetidas a cinco doses de boro.

Tratamento B kg.ha ⁻¹	PG kg.ha ⁻¹	Pop Pl.ha ⁻¹	Esp Esp.ha ⁻¹	Prol Esp.pl ⁻¹	GEsp Grãos	MMG G
0	10.280 a [*]	57.310 cd	57.040 a	0,9956 a	530,1 a	340,8 a
0,5	10.240 a	57.040 d	57.360 a	1,007 a	520,9 a	343,0 a
1	10.570 a	58.190 ab	57.780 a	0,9926 a	528,3 a	346,8 a
2	10.660 a	58.010 bc	57.820 a	0,9963 a	533,3 a	345,8 a
4	10.580 a	58.940 a	58.700 a	0,9963 a	520,0 a	346,9 a
DMS	1.062	815,2	1.553	0,0198	22,82	17,41

* nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN.

Os teores foliares de potássio foram significativamente influenciados pelas doses de nitrogênio, potássio e pela combinação de nitrogênio e boro conforme Tabela 5. As doses de nitrogênio influenciaram negativamente no teor foliar de potássio, sendo que a não aplicação de nitrogênio em cobertura proporcionou um maior nível, que diferiu das duas doses aplicadas (Tabela 9). Os resultados discordam dos alcançados por CASAGRANDE e FORNASIERI FILHO (2002), que

não observaram diferenças e por ARNON (1975) que relata incremento nos teores foliares de potássio à medida que as doses de nitrogênio aumentaram.

Tabela 9 – Teste de classificação de médias para a estatura de plantas (EstPI), altura de inserção da primeira espiga (InsEs), diâmetro do colmo (DiaCo), teor foliar de boro (BFol), teor foliar de nitrogênio (NFol) e teor foliar de potássio (KFol), submetidas a três doses de nitrogênio.

Tratamento N kg.ha ⁻¹	EstPI cm	InsEs cm	DiaCo mm	BFol mg.kg ⁻¹	NFol g.kg ⁻¹	KFol g.kg ⁻¹
0	231,1 b*	89,78 b	24,45 b	8,808 a	31,22 b	24,28 a
100	234,8 a	92,86 a	25,33 a	8,900 a	32,72 a	23,61 b
200	236,3 a	94,30 a	25,16 a	9,351 a	33,31 a	23,30 b
DMS	3,49	2,618	0,5752	0,635	0,6893	0,4501

* nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN.

A aplicação de potássio em cobertura aumentou os teores foliares deste nutriente, conforme pode se observar na Tabela 10. Este aumento nos teores foliares de potássio indica, que ocorreu consumo de luxo pela cultura de milho, já que não houve acréscimo em produtividade.

Tabela 10 – Teste de classificação de médias para a estatura de plantas (EstPI), altura de inserção da primeira espiga (InsEs), diâmetro do colmo (DiaCo), teor foliar de boro (BFol), teor foliar de nitrogênio (NFol) e teor foliar de potássio (KFol), submetidas a três doses de potássio.

Tratamento K kg.ha ⁻¹	EstPI cm	InsEs cm	DiaCo mm	BFol mg.kg ⁻¹	NFol g.kg ⁻¹	KFol g.kg ⁻¹
0	233,2 a*	91,47 a	24,90 a	8,950 a	32,29 a	23,08 b
90	234,6 a	92,31 a	24,92 a	9,255 a	32,34 a	23,86 a
180	234,4 a	93,15 a	25,12 a	8,854 a	32,63 a	24,25 a
DMS	3,49	2,618	0,5752	0,6350	0,6893	0,4501

* nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN.

Tabela 11 – Teste de classificação de médias para a estatura de plantas (EstPI), altura de inserção da primeira espiga (InsEs), diâmetro do colmo (DiaCo), teor foliar de boro (BFol), teor foliar de nitrogênio (NFol) e teor foliar de potássio (KFol), submetidas a cinco doses de boro.

Tratamento B kg.ha ⁻¹	EstPI cm	InsEs cm	DiaCo mm	BFol mg.kg ⁻¹	NFol g.kg ⁻¹	KFol g.kg ⁻¹
0	230,1 a*	89,96 a	24,52 a	8,846 a	31,17 b	23,80 a
0,5	231,5 a	90,23 a	24,75 a	8,665 a	33,60 a	23,74 a
1	235,4 a	94,09 a	25,24 a	7,909 a	31,83 ab	23,33 a
2	236,7 a	93,56 a	25,40 a	8,893 a	33,20 a	23,99 a
4	236,5 a	93,71 a	25,00 a	10,79 a	32,29 ab	23,80 a
DMS	18,87	13,61	2,036	3,083	1,66	1,568

* nas colunas, médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNCAN.

5. CONCLUSÕES

A aplicação de boro no sulco de plantio não interferiu na produção de grãos, no teor foliar de boro e nos demais atributos avaliados, exceto para a população de plantas;

A aplicação das maiores doses de nitrogênio e potássio em cobertura isoladamente ou em conjunto não interferiu nos teores foliares de boro;

A aplicação de nitrogênio em cobertura influenciou positivamente na produtividade, e nos componentes de rendimento de grãos, com maior interferência na massa de mil grãos e o número de grãos por espiga;

A aplicação de nitrogênio influenciou a altura de planta, altura de inserção da primeira espiga, diâmetro do colmo, teor foliar de nitrogênio e o teor foliar de potássio;

Os teores foliares de boro atualmente descritas como ideais para a cultura do milho no Brasil, provavelmente não são adequados para definir estado de deficiência de boro no tecido foliar, quando se tratar de lavoura de milho cultivado no sistema de plantio direto na palha.

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, F.; CIRILI, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. **Ecofisiologia del cultivo de maiz**. Balcarce: Dekalbpress, 1996. 292 p.
2. ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J.D.; CRUSCIOL, C.A.C.; SOUZA, E.C.A.de; BÜLL, L.T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.145-150, 2001.
3. ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C.A. de; CRUSCIOL, C.A.C.; RODRIGUES, J.D.; BÜLL, L.T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação de bases e da adubação potássica. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.12, p.2437-2446. 2000.
4. ARAUJO, W.F.; SAMPAIO, R.A.; MEDEIROS, R.D. de, Irrigação e adubação nitrogenada em milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, p.909-914, out.-dez. 1999.
5. ARNON, I. **Mineral nutrition of Maize**. Bern – Worb-alufen, International Potash Institute, 1975, 452p.
6. BARTLETT, R.J.; PICARELLI, C.J. Availability of boron and phosphorus as affected by liming an acid potato soil. **Soil Science**, 116, 77-83, 1973.
7. BENNETT, O.L.; MATHIAS, E.L. Growth and chemical composition of crownvetch as affected by lime, boron, soil source, and temperature regime. **Agronomy Journal**. 65, 587-591, 1973.
8. BERGER, K.C. Boron in soils and crops. **Advances in Agronomy**, New York, 1:321-351, 1949.
9. BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plants and soil tests. **Journal of the American Society of Agronomy**, Geneva, 32:297-301, 1940.
10. BORKERT, C.M. Micronutrientes na Planta. In: BÜLL, L.T.; ROSOLEM, C.A. ed. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p.309-329.
11. BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F. da, ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L., Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia preta em resposta a adubação nitrogenada e regime hídrico. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.36, n.9, p.1101-1106, set. 2001.
12. BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, 1965. 135p. [**Livre-Docência** – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”]

13. BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. e CANTARELLA, H. (Ed.) **Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.63-145. 301p.
14. CAMARGO, P.N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo, La Libreria/Herba, 1975. 258p.
15. CANTARELLA, H.; RAIJ, B.van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In SANTANA, M.B.M. (Coord.) **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1985. p. 47-79.
16. CARVALHO, L. H.; SILVA, N. M.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; KONDO, J. I. e CHIAVEGATO, E. J. Modos de aplicação de boro na cultura do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas. v.20:271 – 275, 1996.
17. CARVALHO, L. H.; SILVA, N. M.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; KONDO, J. I. e CHIAVEGATO, E. J. Aplicação de boro no algodoeiro, em cobertura e em pulverização foliar. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas. v.20:265 – 269, 1996.
18. CASAGRANDE, J.C. O boro em solos do município de Piracicaba. **Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Piracicaba. 122p. 1978.
19. CASAGRANDE, J.R.R.; FORNASIERI FILHO, D., Adubação nitrogenada na cultura de milho safrinha. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.37, n.1, p.33-40, jan. 2002.
20. CATANI, R.A.; ALCARDE, J.C.; KROLL, F.M. A adsorção de boro pelo solo. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, 28:189-198, 1971.
21. CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D., **Cartas Climáticas do Paraná, v 1.0**, Instituto Agrônômico do Paraná, 2000.
22. CHAPMAN, H.D.; VANSELOW, A.P. Boron deficiency and excess. **Calif. Citrogr.** 40: 455-457, 1955.
23. CHOI, W.W.; CHEN, K.Y. Evaluation of boron removal by adsorption on soils. **Environmental Science Technology**, Washington, 13: 189-196, 1979.
24. CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores da agropecuária**. Ministério da agricultura e do abastecimento, Brasília, DF. Janeiro 2001, Ano X – nº. 01 – p11.
25. DA ROS, C.O.; SALET, R.L.; PORN, R.L. MACHADO, J.N.C., Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p.799-804, set-out, 2003.

26. DANTAS, J.P. Boro. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. (Ed.) **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba, Potafos/CNPq, 1991, p.113-130. 734p.
27. DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Função dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. (Ed.) **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba, Potafos/CNPq, 1991, p.63-78.
28. EMBRAPA. **Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba, EMBRAPA – SNLCS / SUDESUL / IAPAR, 1984.
29. EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília : Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999. 412p.
30. FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; CASADEI, R. Desempenho da cultura de milho em função de doses de nitrogênio aplicados em diferentes estádios fenológicos. **XXIV Congresso nacional de milho e Sorgo**. 01 a 05 de setembro de 2002 – Florianópolis.
31. FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G.A. de A., Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.9, p.1691-1698, set. 1999.
32. FERREIRA, A.C.B., Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho. **Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 73p., 1997.
33. FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola** v.58, no. 1, p 131-138, 2001.
34. FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.; Adubação nitrogenada no Estado de Minas Gerais. In SANTANA, M.B.M.; coord. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1985. p. 107-124.
35. GALLO, J.R.; IGUE, T.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; MIRANDA, L.E.C. Influência do uso contínuo de fertilizantes na nutrição mineral do milho híbrido IAC Hmd/6999B. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo 15**, Campinas, 1975. Anais. P.245-254.
36. GALRÃO, E.Z. Resposta das culturas aos micronutrientes boro e zinco. In: BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. (Ed.) **Simpósio sobre enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira**, Londrina, 1988. p.205-237.

37. GARAVITO, N.F.; LEON, S.A. Propriedades del solo en relacion con deficiências de boro en el valle del Cauca. **Revista do Instituto Colombiano Agropecuário**, Bogotá, 13:445-453, 1978.
38. GOLDBERG, S.; GLAUBIG, R.A. Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. **Soil Science Society of América Journal**, Madison, 49: 1374-1379, 1985.
39. GOODMAN, M.M.; SMITH, J.S.C. Botânica. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v1, p. 41-78.
40. GROVE, T.L.; RITCHEY, K.D.; NADERMAN JUNIOR, C. Nitrogen fertilization of maize on an Oxisol of the cerrado of Brasil. **Agronomy Journal**, Madison, 72:261-265, 1980.
41. GUPTA, U. C. Deficiency, sufficiency, and toxicity levels of boron in crops. In: GUPTA, U. C. (Ed.) **Boron and its role in crop production**. Florida, 1993, p. 137-145
42. GUPTA, U.C. Effects of boron and lime on boron concentration and growth of forage legumes under greenhouse conditions. **Commun. Soil Science Plant Anal.** 3, 355-365, 1972.
43. GUPTA, U.C. Interaction effects of boron and lime on barley. **Soil Science Society of América Proceedings.** 36, 332-334, 1972.
44. GUPTA, U.C. **Plant Soil.** 47, 283-287, 1977.
45. GUPTA, U.C. Relationship of total and hot water soluble boron, fixation of added boron, to properties of podzol soils. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, 32: 45-48, 1968.
46. GUPTA, U.C., Boron nutrition of crops. **Advances in agronomy**, vol. 31. Charlottetown, p.274-307.
47. GUPTA, U.C.; STERLING, J.D.E.; NASS, H.G. Influence of various rates of compost and nitrogen on the boron toxicity symptoms in barley and wheat. **Can. J. Plant Science.** 53, 451-456, 1973
48. HADAS, A.; HAGIN, J. Boron adsorption by soils as influenced by potassium. **Soil Science**, Baltimore, 113: 189-193, 1972.
49. HANWAY, J.J., Growth stages of corn (*Zea mays*). **Agronomy Journal**, Madison, v.55, n.5, p.487-491, 1963.
50. HATCHER, J.T.; BOWER, C.A.; CLARK, M. Adsorption of boron by soils as influenced by hidroxí aluminun and surface area. **Soil Science**, Baltimore, 104:422-426, 1967.

51. HOROWITZ, A.; DANTAS, H.S. Boro disponível nos solos da zona litoral-mata de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, 8:163-168, 1973.
52. JACKSON, M.L. **Análisis químico de suelos**. 2.ed. Barcelona, Omega, 1970.
53. JONES, W.W.; EMBLETON, T.W.; BOSWELL, S.B.; STEINACKER, M.L.; LEE, B.W.; BARNHART, E.L. Nitrogen control program for oranges and high sulfate and/or high boron. **Calif. Citrogr.** 48: 128-129, 1963.
54. KARLEN, D.L.; FLANNERY, L.R.; SALDER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrient by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.2, p.232-242, 1988.
55. KOEHLER, H. S. **Manual de uso do programa MSTAT**. Curitiba : UFPR/SCA – Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, 1996. 38p.
56. KUBOTA, J.; BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron movements in soils. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, 13:130-134, 1948.
57. LANCASTER, J.D.; MURPHY, B.C.; HURT Jr, B.C.; ARNOLD, B.L.; COATS, R.E.; ALBRITTON, R.C.; WALTON, L. Boron now recommended for cotton. **Miss. Agric. Exp. Stn. Bull.** 635, p.12, 1962.
58. LANTMANN, A.F.; OLIVEIRA, E.L.; CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A. Adubação nitrogenada no Estado do Paraná. In: SANTANA, M.B.M.; (Coord.) **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1985. p. 19-46.
59. MAGALHÃES, A.C.; SILVA, W.J. Determinantes genético-fisiológicos da produtividade do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P.(Ed.) **Melhoramento e produção de Milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v2, p. 425-450.
60. MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Circular técnica 20, CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas, 1995. 27p.
61. MAI, M.E.M.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; SILVEIRA, M.J. da; PAVINATO, A.; PAVINATO, P.S., Manejo da adubação nitrogenada na secessão aveia preta/milho no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.38, n.1, p.125-131, jan. 2003.
62. MALAVOLTA, E. **Boletim Técnico I: O potássio e a planta**. 4.ed. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982. 92p.
63. MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P. **Manual da adubação**. 2.ed. São Paulo, ANDA, 1975. 346p.

64. MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. e OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações** (2a edição). Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
65. MAR, G.D. do; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F. de; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O., *Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio*. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2. p.267-274, 2003.
66. McPHAIL, M.; PAGE, A.L.; BINGHAM, F.T. Adsorption of monosilicic and boric acid on hydrous oxides of iron and aluminum. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, 36: 510-514, 1972.
67. MENDONÇA, F.C.; MEDEIROS, R.D.de; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Adubação nitrogenada do milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p.1035-1044. 1999. Suplemento.
68. MORTVEDT, J. J.; WOODRUFF, J. R. Technology and application of boron fertilizers for crops. In: GUPTA, U. C. (Ed.) **Boron and its role in crop production**. Florida, 1993, p. 157-176.
69. MORTVEDT, J.J.; CINCINGHAM, H.G. Production, marketing, and use of other secondary and micronutrient fertilizers. In: OLSON, R.A.; ARMY, T.J.; HANWAY, J.J.; KILMER, V.J. (Ed.) **Fertilizer technology and use**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1971. p.413-454.
70. MOZAFAR, A. Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, New York, 10(3): 319-332, 1987.
71. NIELSEN, F.H. Boron – An overlooked element of potential nutritional importance, **Nutr. Today**, 23 ,4, 1988.
72. NIELSEN, F.H. Ultratrace elements in nutrition. **Annu. Ver. Nutr.**, 4, 21, 1984.
73. OKASAKI, E.; CHAO, T.T. Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. **Soil Science**, Baltimore, 105:255-259, 1968.
74. OLSON, R.V.; BERGER, K.C. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content, and other factors. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, 11: 216-220, 1946.
75. PAGE, N.R.; COOPER, H.P. Less-soluble boron compounds for correcting boron nutritional deficiencies. **Journal of Agric. Food Chem.** 3: 222-225, 1955.
76. PARKS, W.L.; WHITE, J.L. Boron retention by clay humus systems saturated with various cations. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, 16:298-300, 1952.

77. PAULETTI, V. **Nutrientes: Teores e Interpretações** – 2. ed. – Castro, 2004, 86p.
78. PAULETTI, V., Mito e realidade na adubação de milho. In: **Informativo Fundação ABC para assistência e divulgação técnica agropecuária**, Castro, ano 3, n.11, p.4-5, mai. 2001.
79. PAULETTI, V.; COSTA, L.C., Dose e estratégia de aplicação de N em milho para a região dos Campos Gerais – PR. **Fundação ABC para assistência e divulgação técnica agropecuária**, Castro, abril 2002, não publicado.
80. PAULETTI, V.; COSTA, L.C., Época de aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão à aveia preta no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.599-603, 2000.
81. PURVES, D.; MACKENZIE, E.J. Effect of applications of municipal compost on uptake of copper, zinc, and boron by garden vegetables. **Plant Soil**. 39, 361-371, 1973.
82. RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A. e FURLANI, A. M. C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2a. ed. Campinas, Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. 285p. (**Boletim Técnico 100**)
83. 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 respostas à adubação para a cultura do milho. **Bragantia**, Campinas, 40:57-75, 1981.
84. REEVE, E.; SHIVE, J.W. Potassium-boron and calcium-boron relationships in plant nutrition. **Soil Science**, Baltimore, 57: 1-14, 1944.
85. REISENAUER, H.M.; WALSH, L.M.; HOEFT, R.G. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum, and chlorine. In: **Soil Testing and Plant Analysis**. WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.) p.173-200. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, WI. 1973.
86. SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. de, Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura de milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.29, n.1, p.13-24, jan. 1994.
87. SILVA, I.R. da; FURTINI NETO, A.E.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; VALE, F.R. do, Formas, relação quantidade/intensidade e biodisponibilidade de potássio em diferentes latossolos. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.10, p.2065-2073, out. 2000.
88. SIMS, J.R.; BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. II. Sesquioxides. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, 32: 364-369, 1968.

89. SIMS, J.R.; BINGHAM, F.T. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. I. Layer silicates. **Soil Science Society of América Proceedings**, Madison, 31: 728-732, 1967.
90. SMITHSON, J.B.; HEATHCOTE, R.G. Samaru **Agric. Newsletters**. 18, 59, 1976.
91. SOARES, M.A.; **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays*L.)**. Piracicaba, 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz"/USP.
92. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**, New York, Macmillan Publishing, 1985, 754p.
93. ULHOA, A.M.C.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho**. Campinas, Fundação Cargill, 1982. 66p.
94. VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T., (Ed.) **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.437-448.
95. VYN, T.J.; JANOVICEK, K.J., Potassium placement and tillage system effects on corn response following long-term no till. **Agron. J.**, 93:487-495, 2001.
96. WEAR, J.I.; PATTERSON, R.M. Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. **Soil Science Society of América Proceedings**, 26: 344-346, 1962.
97. WOLF, B. Factors influencing availability of boron in soil and its distribution in plants. **Soil Science**. 50, 209-217, 1940.
98. WOODRUFF, J.R.; MOORE, F.W.; MUSEN, H.L. Potassium, boron, nitrogen, and lime effects on corn yield and earleaf nutrient concentrations. **Agronomy Journal**, Madison, 79(3): 520-524, 1987.
99. YAMAGUCHI, M.; HOWARD, F.D.; MINGES, P.A. Brown checking of celery, as a symptom of boron deficiency. III. Effects of potassium, nitrogen, and boron in culture solutions on the physiological disorder and nutrient uptake. **Proc. Am. Soc. Hortic. Science**, 71, 455-467, 1958.

Anexo 1 – Análise de variância dos dados referentes ao rendimento de grãos (PG).

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios	
		PG	
Bloco	2	731125,537 ^{ns}	
Boro	4	987188,658 ^{ns}	
Erro	8	2861978,604	
Nitrogênio	2	3122397,059 [*]	
Boro x Nitrogênio	8	1063541,901 ^{ns}	
Potássio	2	527229,259 ^{ns}	
Boro x Potássio	8	537399,045 ^{ns}	
Nitrogênio x Potássio	4	322405,819 ^{ns}	
Boro x Nitrogênio x Potássio	16	737133,649 ^{ns}	
Erro	80	884516,712	
Coeficiente de variação (%)		8,98	
Teste de BARTLET		51,127 ^{ns}	

^{*} significativo a 1% de probabilidade; ^{*} significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Anexo 2 – Análise de variância dos dados referentes à prolificidade (Prol) e grãos por espiga (GEsp).

Fontes de variação	Fontes de variação	Quadrados Médios	
		Prol	GEsp
Bloco	2	0,000 ^{ns}	3011,687 ^{ns}
Boro	4	0,001 ^{ns}	918,022 ^{ns}
Erro	8	0,001	1321,636
Nitrogênio	2	0,001 ^{ns}	5422,752 [*]
Boro x Nitrogênio	8	0,002 ^{ns}	822,010 ^{ns}
Potássio	2	0,001 ^{ns}	4092,706 [*]
Boro x Potássio	8	0,001 ^{ns}	1300,794 ^{ns}
Nitrogênio x Potássio	4	0,001 ^{ns}	838,977 ^{ns}
Boro x Nitrogênio x Potássio	16	0,001 ^{ns}	1219,858 ^{ns}
Erro	80	0,001	1218,974
Coeficiente de variação (%)		3,34	6,63
Teste de BARTLET		61,604 [*]	50,302 ^{ns}

^{*} significativo a 1% de probabilidade; ^{*} significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Anexo 3 – Análise de variância dos dados referentes à população (Pop), número de espigas por hectare (Esp) e massa de mil grãos (MMG).

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		Pop	Esp	MMG
Bloco	2	20914351,852**	17858796,296 ^{ns}	503,225 ^{ns}
Boro	4	15237268,519**	10630787,037 ^{ns}	193,288 ^{ns}
Erro	8	1686921,296	6125578,704	769,354
Nitrogênio	2	8344907,407 ^{ns}	13692129,630 ^{ns}	902,646**
Boro x Nitrogênio	8	9039351,852 ^{ns}	12418981,481 ^{ns}	338,408 ^{ns}
Potássio	2	4490740,741 ^{ns}	1608796,296 ^{ns}	346,208 ^{ns}
Boro x Potássio	8	19334490,741 ^{ns}	18564814,815 ^{ns}	162,070 ^{ns}
Nitrogênio x Potássio	4	7997685,185 ^{ns}	2633101,852 ^{ns}	45,696 ^{ns}
Boro x Nitrogênio x Potássio	16	9321469,907 ^{ns}	10951967,593 ^{ns}	138,707 ^{ns}
Erro	80	14985532,407	16024305,556	176,286
Coeficiente de variação (%)		6,69	6,93	3,85
Teste de BARTLET		38,628 ^{ns}	42,333 ^{ns}	52,675 ^{ns}

* significativo a 1% de probabilidade; ** significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Anexo 4 – Análise de variância dos dados referentes à estatura de planta (EstPI), inserção da primeira espiga (InsEs) e diâmetro do colmo (DiaCo).

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		EstPI	InsEs	DiaCol
Bloco	2	639,283 ^{ns}	233,283 ^{ns}	11,627 ^{ns}
Boro	4	252,614 ^{ns}	111,639 ^{ns}	3,417 ^{ns}
Erro	8	903,541	470,369	10,523
Nitrogênio	2	323,655 [*]	239,784 ^{**}	9,710 ^{**}
Boro x Nitrogênio	8	77,901 ^{ns}	28,947 ^{ns}	2,875 ^{ns}
Potássio	2	26,267 ^{ns}	31,668 ^{ns}	0,677 ^{ns}
Boro x Potássio	8	53,599 ^{ns}	26,475 ^{ns}	2,565 ^{ns}
Nitrogênio x Potássio	4	64,658 ^{ns}	18,397 ^{ns}	1,847 ^{ns}
Boro x Nitrogênio x Potássio	16	42,769 ^{ns}	31,054 ^{ns}	1,276 ^{ns}
Erro	80	69,198	38,937	1,880
Coeficiente de variação (%)		3,55	6,76	5,49
Teste de BARTLET		50,656 ^{ns}	44,780 ^{ns}	53,855 ^{ns}

^{*} significativo a 1% de probabilidade; ^{**} significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Anexo 5 – Análise de variância dos dados referentes ao teor foliar de boro (BFol), nitrogênio (NFol) e potássio (KFol).

Fontes de variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios		
		BFol	NFol	KFol
Bloco	2	145,538 [*]	10,374 ^{ns}	9,901 ^{ns}
Boro	4	30,560 ^{ns}	26,492 ^{ns}	1,572 ^{ns}
Erro	8	24,131	6,995	6,242
Nitrogênio	2	3,794 ^{ns}	52,531 ^{**}	11,187 ^{**}
Boro x Nitrogênio	8	0,900 ^{ns}	4,195 ^{ns}	3,077 [*]
Potássio	2	1,971 ^{ns}	1,495 ^{ns}	15,880 ^{**}
Boro x Potássio	8	3,232 ^{ns}	1,486 ^{ns}	0,463 ^{ns}
Nitrogênio x Potássio	4	0,403 ^{ns}	1,645 ^{ns}	2,001 ^{ns}
Boro x Nitrogênio x Potássio	16	4,055 ^{ns}	1,022 ^{ns}	1,392 ^{ns}
Erro	80	2,291	2,699	1,151
Coeficiente de variação (%)		16,78	5,07	4,52
Teste de BARTLET		46,201 ^{ns}	45,164 ^{ns}	58,847 ^{ns}

^{*} significativo a 1% de probabilidade; ^{**} significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Anexo 6 – Valores médios de produtividade de grãos (PG, kg.ha⁻¹), população de plantas (Pop, plantas.ha⁻¹), número de espigas por hectare (Esp, espigas.ha⁻¹) e massa de mil grãos (MMG, g) em função das doses (kg.ha⁻¹) de boro (DB), nitrogênio (DN) e potássio (DP)

DB	DN	DK	PG	Pop	Esp	MMG
0	0	0	10366	54583	55833	373,73
0	0	90	10191	57500	59583	386,13
0	0	180	10150	59167	58750	361,20
0	100	0	10263	56250	54167	380,40
0	100	90	10733	58750	58333	392,40
0	100	180	10456	59583	59167	399,47
0	200	0	9696	54167	54583	375,20
0	200	90	10163	57917	56667	376,00
0	200	180	10546	57917	56250	376,40
0,5	0	0	9799	58333	57917	364,27
0,5	0	90	9722	56667	57500	369,87
0,5	0	180	9996	60833	60833	369,87
0,5	100	0	10854	58750	58750	395,73
0,5	100	90	10189	53750	55833	383,47
0,5	100	180	11032	59583	59833	378,13
0,5	200	0	9791	52917	54167	386,80
0,5	200	90	10142	56250	56250	398,13
0,5	200	180	10642	56250	55417	396,67
1	0	0	9719	58750	57917	371,87
1	0	90	9819	59583	58750	386,53
1	0	180	10253	57500	55833	391,47
1	100	0	11390	60833	60417	390,53
1	100	90	9628	55833	53750	386,53
1	100	180	10788	57083	57083	389,47
1	200	0	11298	59167	60417	387,20
1	200	90	10928	57500	57917	387,73
1	200	180	11333	57500	57917	389,73
2	0	0	10747	58750	59167	385,33
2	0	90	9978	59167	58333	394,40
2	0	180	11005	58750	60000	377,20
2	100	0	10601	57083	55833	384,13
2	100	90	11042	57917	57917	390,67
2	100	180	10087	57083	56667	377,73
2	200	0	10717	57083	55833	392,00
2	200	90	11324	58750	59583	394,93
2	200	180	10430	57500	57083	374,80
4	0	0	9718	59583	59167	383,47
4	0	90	11065	61250	60417	380,67
4	0	180	10094	54583	55417	384,27
4	100	0	10372	58333	58333	387,20
4	100	90	10299	58750	60000	391,73
4	100	180	10461	58750	57500	372,93
4	200	0	11135	60000	60417	402,27
4	200	90	10533	57500	56250	396,13
4	200	180	11582	61667	60833	383,87

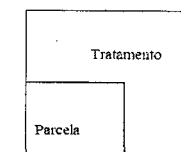
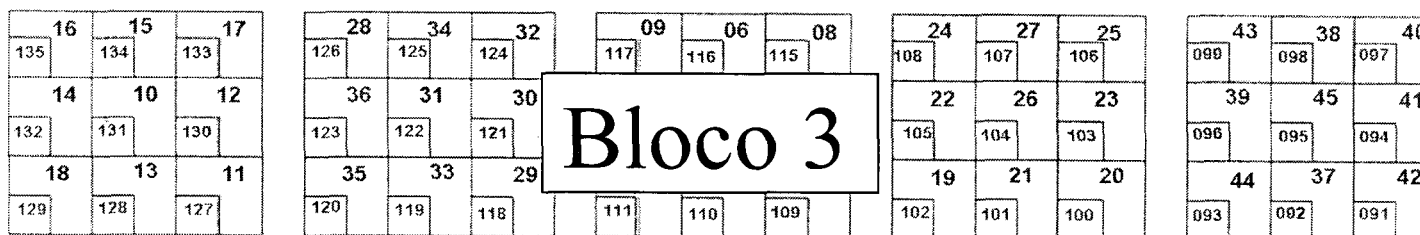
Anexo 7 – Valores médios de prolificidade (Prol), grãos por espiga (GEsp), estatura de plantas (EstPI, cm), altura de inserção da primeira espiga (InsEs, cm) e diâmetro do colmo (DiaCo, mm) em função das doses (kg.ha⁻¹) de boro (DB), nitrogênio (DN) e potássio (DP)

DB	DN	DK	Prol	GEsp	EstPL	InsEs	DiaCo
0	0	0	1,023	497,50	223,00	85,70	24,53
0	0	90	1,040	443,50	228,23	90,43	24,73
0	0	180	0,993	479,00	225,83	86,43	23,77
0	100	0	0,963	498,50	232,47	92,93	26,00
0	100	90	0,993	468,83	237,47	92,50	24,70
0	100	180	0,993	443,17	233,40	90,73	25,67
0	200	0	1,007	473,87	225,73	86,97	24,00
0	200	90	0,977	472,63	225,13	90,03	22,43
0	200	180	0,970	500,03	239,40	93,93	24,87
0,5	0	0	0,993	465,47	231,40	89,00	24,27
0,5	0	90	1,017	458,90	227,67	85,43	24,87
0,5	0	180	1,000	445,10	227,90	85,77	23,60
0,5	100	0	1,000	466,90	235,40	92,03	25,43
0,5	100	90	1,040	475,67	237,50	96,33	25,17
0,5	100	180	1,000	489,73	229,90	90,33	25,00
0,5	200	0	1,023	465,53	228,87	90,57	25,37
0,5	200	90	1,003	450,63	229,13	88,30	24,00
0,5	200	180	0,987	485,63	235,67	94,30	25,03
1	0	0	0,987	451,70	226,93	90,33	22,87
1	0	90	0,983	434,87	233,17	91,47	24,77
1	0	180	0,973	469,83	235,17	91,67	24,97
1	100	0	0,993	484,10	232,27	91,13	24,83
1	100	90	0,963	463,00	227,80	86,40	25,43
1	100	180	1,000	486,70	237,00	99,73	26,07
1	200	0	1,020	483,00	239,37	94,77	26,03
1	200	90	1,007	486,40	243,47	98,67	24,77
1	200	180	1,007	503,73	243,77	102,67	27,40
2	0	0	1,007	470,87	237,53	93,80	24,60
2	0	90	0,987	433,60	230,77	88,37	24,43
2	0	180	1,020	484,87	234,57	92,57	25,13
2	100	0	0,980	494,80	236,17	92,83	26,20
2	100	90	1,000	486,40	242,97	95,20	25,80
2	100	180	0,990	472,37	230,87	92,50	25,17
2	200	0	0,977	489,60	241,37	95,30	25,70
2	200	90	1,013	482,77	240,80	97,93	26,47
2	200	180	0,993	488,00	235,63	93,50	25,10
4	0	0	0,993	428,20	233,03	87,77	24,33
4	0	90	0,987	481,33	237,03	94,57	25,30
4	0	180	1,013	474,57	233,67	93,37	24,63
4	100	0	1,000	460,50	237,80	95,57	24,33
4	100	90	1,020	437,90	238,80	92,27	24,93
4	100	180	0,980	486,50	232,57	92,40	25,17
4	200	0	1,007	457,50	236,27	93,40	24,97
4	200	90	0,980	472,90	239,03	96,73	26,07
4	200	180	0,987	496,13	240,13	97,37	25,27

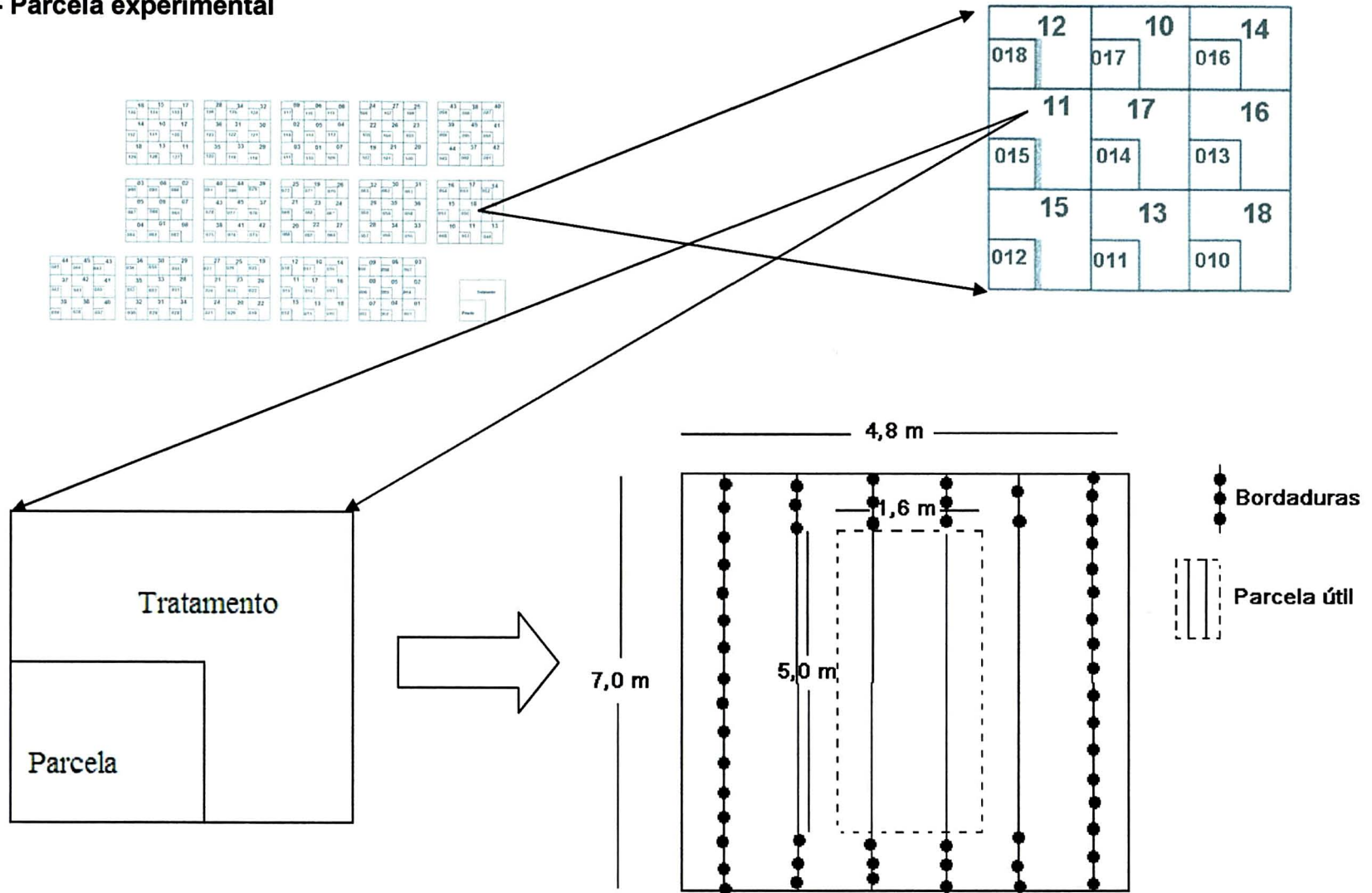
Anexo 8 – Valores médios de teor foliar de boro (BFol, mg.kg⁻¹), nitrogênio (NFol, g.kg⁻¹) e potássio (KFol, g.kg⁻¹) em função das doses (kg.ha⁻¹) de boro (DB), nitrogênio (DN) e potássio (DP)

DB	DN	DK	BFol	NFol	KFol
0	0	0	8,11	30,47	23,00
0	0	90	10,10	29,90	25,00
0	0	180	8,85	30,33	24,87
0	100	0	7,94	30,40	23,60
0	100	90	9,42	31,80	23,47
0	100	180	9,34	31,57	24,40
0	200	0	7,00	32,00	22,20
0	200	90	9,16	31,07	24,27
0	200	180	9,69	33,00	23,43
0,5	0	0	7,36	31,47	23,53
0,5	0	90	9,29	30,87	24,87
0,5	0	180	8,06	32,10	24,33
0,5	100	0	8,90	34,10	23,87
0,5	100	90	8,01	34,30	24,40
0,5	100	180	9,12	34,77	24,40
0,5	200	0	10,18	34,23	22,00
0,5	200	90	9,28	34,93	21,93
0,5	200	180	7,68	35,63	24,33
1	0	0	8,37	30,53	23,47
1	0	90	8,59	31,50	24,13
1	0	180	6,43	31,20	23,80
1	100	0	6,96	32,90	22,27
1	100	90	7,97	32,73	23,27
1	100	180	7,82	32,47	23,80
1	200	0	8,36	31,07	22,13
1	200	90	8,51	31,33	23,40
1	200	180	8,17	32,77	23,73
2	0	0	7,58	32,40	25,47
2	0	90	9,36	32,00	25,33
2	0	180	8,62	32,77	25,27
2	100	0	9,86	33,30	22,47
2	100	90	8,48	33,50	23,07
2	100	180	7,53	32,23	24,40
2	200	0	9,28	33,57	21,93
2	200	90	9,34	35,47	23,47
2	200	180	9,99	33,57	24,47
4	0	0	12,24	31,33	24,13
4	0	90	8,24	30,33	22,80
4	0	180	10,92	31,07	24,20
4	100	0	11,25	32,77	23,40
4	100	90	11,02	32,20	23,80
4	100	180	9,79	31,80	23,60
4	200	0	10,74	33,83	22,80
4	200	90	12,05	33,10	24,73
4	200	180	10,83	34,13	24,73

Anexo 9 - Croqui da área experimental, representação das parcelas e tratamentos



Anexo 10 - Parcela experimental



Anexo 11 – Descrição dos tratamentos e distribuição das parcelas

Tratamento no.	Tratamento (Dose em kg.ha ⁻¹)			Parcelas no.
	B	N	K	
1	0	0	0	1-83-110
2	0	0	90	4-88-114
3	0	0	180	7-90-111
4	0	100	0	2-84-112
5	0	100	90	5-87-113
6	0	100	180	8-89-116
7	0	200	0	3-85-109
8	0	200	90	6-82-115
9	0	200	180	9-86-117
10	0,5	0	0	17-48-131
11	0,5	0	90	15-47-127
12	0,5	0	180	18-49-130
13	0,5	100	0	11-46-128
14	0,5	100	90	16-52-132
15	0,5	100	180	12-51-134
16	0,5	200	0	13-54-135
17	0,5	200	90	14-53-133
18	0,5	200	180	10-50-129
19	1	0	0	25-71-102
20	1	0	90	20-66-100
21	1	0	180	24-69-101
22	1	100	0	19-65-105
23	1	100	90	23-68-103
24	1	100	180	21-67-108
25	1	200	0	26-72-106
26	1	200	90	22-70-104
27	1	200	180	27-64-107
28	2	0	0	31-57-126
29	2	0	90	34-60-118
30	2	0	180	35-62-121
31	2	100	0	29-61-122
32	2	100	90	30-63-124
33	2	100	180	32-55-119
34	2	200	0	28-56-125
35	2	200	90	33-59-120
36	2	200	180	36-58-123
37	4	0	0	42-76-92
38	4	0	90	38-75-98
39	4	0	180	39-79-96
40	4	100	0	37-81-97
41	4	100	90	40-74-94
42	4	100	180	41-73-91
43	4	200	0	43-78-99
44	4	200	90	45-80-93
45	4	200	180	44-77-95