

FLAVIO ERVINO SCHUHMACHER

**AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS
E NUTRICIONAIS DE DOIS CULTIVARES DE
MILHO (*Zea mays* L.) SOB DIFERENTES
NÍVEIS DE CALAGEM.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre no Curso de pós-graduação em Agronomia. Área de concentração Ciência do Solo. Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Beatriz Monte Serrat Prevedello.

CURITIBA
1997

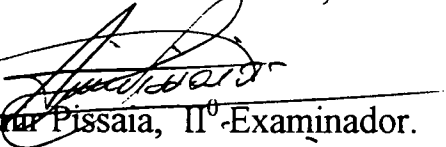
PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **FLÁVIO ERVINO SCHUHMACHER**, com o título: "**Avaliação das características agrônômicas e nutricionais de dois cultivares de milho (*Zea mays* L.) sob diferentes níveis de calagem**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" 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 com média 9,3 - conceito "**A**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 30 de julho de 1997.


Prof. Dra. Beatriz Monte Serrat Prevedello, Presidente.


Engo. Agro. Dr. Lucinei José Comin, Iº Examinador.


Prof. M.Se. Agur Pissaia, IIº Examinador.



Dedico este trabalho:

Aos meus pais: Marcos e Elisamir Schuhmacher.

Aos meus irmãos e cunhados: Paulo e Bárbara, Kátia e Sven, Rodrigo.

Aos meus avós: Erwin Schuhmacher e Erna Klinger, Ervino Tremel e Asta Schindler.

A minha noiva Juliane Rezende Mercer e sua família: João Geraldo e Diva, Adriane, Daniel e João.

Ao meu colega de Turma Silvestre Gargnin Filho, *in memoriam*.

Agradecimentos:

À minha Orientadora Beatriz Monte Serrat Prevedello pela amizade, atenção e compreensão.

Ao meu Co-orientador Amir Pissaia pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

A todos os professores do Departamento de Solos pelo apoio e confiança.

Aos meus amigos do Curso de pós-graduação pela amizade e colaboração, em especial aos meus colegas de turma: Sebastião Brasil, Carlos Henrique e Carlos Gaethner.

Aos funcionários do Departamento de Solos pela amizade e auxílio, em especial àqueles que diretamente colaboraram: o secretário Gerson e os laboratoristas Aldair, Hair e Regina.

Aos funcionários do Centro de Estações Experimentais do Cangüiri pela colaboração no desenvolvimento do experimento.

Ao professor Joel Maurício Rosa e ao aluno Alessandro Caggiano do Curso de Estatística da UFPR pela orientação nas avaliações estatísticas.

Ao professor Edilberto Possamai, pela amizade e ajuda.

Aos funcionários da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias pela atenção e ajuda.

Ao Departamento de Solos, ao Curso de pós-graduação em Agronomia “Ciência do Solo” e ao CNPq pela oportunidade e apoio na realização deste trabalho.

Ao nobre amigo e mestre, Virgílio Josué Balestro, pelo apoio e orientação no adequamento sintático e estético desta dissertação.

Ao insigne filólogo e gramático Napoleão Mendes de Almeida e, in memoriam, ao dicionarista Caldas Aulete, quíça as duas maiores defesas do idioma contra a sua barbarização.

BIOGRAFIA

Flávio Ervino Schuhmacher, filho de Marcos e Elisamir Schuhmacher, nasceu no dia 20 de abril de 1971.

Em setembro de 1994, colou grau como Engenheiro Agrônomo na Universidade Federal do Paraná.

Em março de 1995 iniciou o Curso de pós-graduação em Agronomia, área de Concentração Ciência do Solo, da Universidade Federal do Paraná.

Atualmente, participa da criação da Empresa “Produção Engenharia e Consultoria Ltda”, a qual prestará assessoria na elaboração e execução de projetos agrícolas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 ACIDEZ DO SOLO E PRESENÇA DO ALUMÍNIO TOCÁVEL.....	3
2.2 CALAGEM.....	15
2.3 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE MILHO.....	21
2.4 SÍNTESE DA REVISÃO.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA.....	32
3.2 INCUBAÇÃO.....	34
3.3 IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	34
3.4 PRIMEIRO ANO DE CULTIVO.....	35
3.5 SEGUNDO ANO DE CULTIVO.....	36
3.6 AMOSTRAGEM DE SOLO.....	37
3.7 AMOSTRAGEM DE PLANTA.....	37
3.8 ANÁLISE DE SOLO.....	39
3.9 ANÁLISE FOLIAR.....	42
3.10 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E OUTRAS AVALIAÇÕES..	43
3.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 RESULTADOS ANALÍTICOS DE SOLO.....	52
4.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DA PLANTA.....	55
4.2.1 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E DE RENDIMENTO COMFORME O CULTIVAR.....	57

4.2.2 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E DE RENDIMENTO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	58
4.2.3 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DAS FOLHAS CONFORME O CULTIVAR.....	66
4.2.4 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DAS FOLHAS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO.....	68
5 CONCLUSÕES.....	106
LISTA DE ANEXOS.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

LISTA DE FIGURAS

01: VISÃO GERAL DO EXPERIMENTO.....	33
02: ALTURA DAS PLANTAS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	59
03: DIÂMETRO DO COLMO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	61
04: MASSA SECA FOLIAR CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	62
05: (a)RENDIMENTO DE GRÃOS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	63
05: (b)RENDIMENTO DE GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO EM QUATRO NÍVEIS DE CALAGEM.....	64
06: TEORES DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	71
07: TEORES NUTRICIONAIS DE NITROGÊNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	74
08: TEORES NUTRICIONAIS DE NITROGÊNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	74
09: TEORES DE FÓSFORO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	76
10: TEORES NUTRICIONAIS DE FÓSFORO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	78
11: TEORES NUTRICIONAIS DE FÓSFORO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	78
12: TEORES DE POTÁSSIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	80
13: TEORES NUTRICIONAIS DE POTÁSSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	81
14: TEORES NUTRICIONAIS DE POTÁSSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	82
15: TEORES DE CÁLCIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	83
16: TEORES NUTRICIONAIS DE CÁLCIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	85
17: TEORES NUTRICIONAIS DE CÁLCIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	85
18: TEORES DE MAGNÉSIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	87
19: TEORES NUTRICIONAIS DE MAGNÉSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	88
20: TEORES NUTRICIONAIS DE MAGNÉSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	89
21: TEORES DE FERRO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	90
22: TEORES NUTRICIONAIS DE FERRO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	92
23: TEORES NUTRICIONAIS DE FERRO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	92

24: TEORES DE ZINCO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	94
25: TEORES NUTRICIONAIS DE ZINCO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	96
26: TEORES NUTRICIONAIS DE ZINCO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	96
27: TEORES DE COBRE NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	98
28: TEORES NUTRICIONAIS DE COBRE CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	98
29: TEORES NUTRICIONAIS DE COBRE CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	99
30: TEORES DE MANGANÊS NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	100
31: TEORES NUTRICIONAIS DE MANGANÊS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	101
32: TEORES NUTRICIONAIS DE MANGANÊS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	102
33: TEORES DE ALUMÍNIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.....	103
34: TEORES NUTRICIONAIS DE ALUMÍNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.....	105
35: TEORES NUTRICIONAIS DE ALUMÍNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E A POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.....	105

LISTA DE TABELAS

01: TEORES FOLIARES CONSIDERADOS ADEQUADOS DE ALGUNS NUTRIENTES E ALUMÍNIO PARA PLANTAS DE MILHO.....	31
02: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA GERAL DO SOLO UTILIZADO, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	33
03: TEORES DE DIVERSOS ELEMENTOS NO SOLO CONFORME DOSES DE CALCÁRIO APLICADAS E CULTIVARES UTILIZADOS (21/06/94).....	53
04: TEORES DE DIVERSOS ELEMENTOS NO SOLO CONFORME DOSES DE CALCÁRIO APLICADAS E CULTIVARES UTILIZADOS (17/04/95).....	54
05: PERCENTAGEM (%) DOS PARÂMETROS AVALIADOS NOS GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO EM QUATRO NÍVEIS DE CALAGEM.....	65
06: CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES NAS FOLHAS ÍNDICES EM DOIS CULTIVARES DE MILHO.....	66
07: MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS RESPOSTAS.....	109
08: EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES VIA FOLIAR EM MILHO (C 525 M).....	109
09: EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES VIA FOLIAR EM MILHO (HS 701 B).....	109

RESUMO

Este trabalho de campo se realizou no “Centro de Estações Experimentais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná”, com o escopo de avaliar, em solo álico, a influência de doses crescentes de calcário no concenrente à composição mineral das folhas, aos parâmetros morfológicos e à produtividade da planta de milho, ademais de comparar os níveis de acumulação de nutrientes entre as folhas de diferentes idades.

O delineamento utilizado foi de blocos aleatórios, com os tratamentos distribuídos em faixas com 4 níveis de correção do alumínio. Os cultivares foram dois, um considerado tolerante (Cargill) e outro sensível (HS) à presença do alumínio no solo, nos citados 4 blocos por que se distribuíram. Os níveis de correção obtiveram-se a partir de uma curva de incubação realizada em laboratório. O tratamento 0 não recebeu o corretivo, ao passo que o tratamento 3 recebeu 10,5 toneladas de calcário por hectare, quantidade exigida para a neutralização total do alumínio presente no solo. O tratamento 1 recebeu 3,5 toneladas, o tratamento 2 recebeu 7,0 toneladas, respectivamente 1/3 e 2/3 do tratamento 3.

No estágio de pleno florescimento, mediu-se o diâmetro de colmo e a altura da planta; dentro da área útil de cada subparcela, coletaram-se 20 *folhas índices*, a primeira abaixo e oposta à espiga, e 3 plantas inteiras. Nas *folhas índices*, selecionou-se o terço médio, que foi encaminhado à análise química. As plantas inteiras tiveram as folhas divididas, conforme a posição inferior, média e superior, como indicativo de folhas mais velhas, intermediária e mais novas; em seguida foram submetidas à análise química. A colheita de grãos, para se determinar a produtividade, foi realizada após a maturação fisiológica.

Na avaliação estatística, realizaram-se duas análises em separado. A primeira determinou que houve influência dos cultivares somente na altura da planta; no atinente às doses de calcário, a influência detectou-se na altura da planta, no diâmetro do colmo, na massa seca foliar e nos teores de Mg e Cu. A segunda análise, realizada separadamente para os cultivares, avaliou a influência das doses de calcário e da posição das folhas. No cultivar tolerante, a calagem interferiu nos níveis de P, de K, de Mg e de Zn, enquanto a posição da folha interferiu nos níveis de N, de P, de K, de Mg, de Fe e de Mn, além de ter sido verificada interação dos dois fatores para o Ca. Para o cultivar sensível, a calagem interferiu nos níveis de Mg e de Al, enquanto a posição da folha interferiu nos níveis de N, de P, de Ca, de Mg, de Zn e de Mn, ademais da interação significativa dos dois fatores para o Fe.

No cálculo da extração de nutrientes, para ambos cultivares, o Fe e Al demonstraram diminuição da quantidade absorvida com a aplicação de doses crescentes de calcário; N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu e Mn apresentaram aumentos na absorção em virtude da calagem.

De modo geral, pode-se observar o efeito benéfico, em solo ácido, da aplicação de calcário e conseqüente neutralização do alumínio no desenvolvimento, nas características morfológicas e nos parâmetros nutricionais de plantas de milho.

ABSTRACT

This agronomic inquiry was set in the experimental station of “Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná” (Brazilian university), with the purpose of evaluating liming crescent doses influence in the mineral leaf composition, morphological parameters and corn plant productivity and permitting an appraisal of nutrients levels accumulation in leaves of different age in an acid soil.

The experimental design was set up by means of randomized blocks distributed in four bands according to four levels of liming correction; two cultivars were considered, one tolerant (Cargill) and the other sensitive (HS) to aluminum presence in the soil. Liming levels were obtained in an incubation curve. Testemonial treatment 0 received no liming; treatment 3 received 10,5 tons per hectare, i. e. 2471 acres, amount needed to neutralize all soil aluminum; treatment 1 received 3,5 tons per hectare, exactly 1/3 of treatment 3; treatment 2 received 7.0 tons per hectare, exactly 2/3 of treatment 3.

When plants were at full bloom, the next steps were taken: stalk diameter, plant height and samples were taken from inside the plot area of each subplot 20 *indexes leaves*, first bellow and opposed to the corn ear, and three entire plants. Mean third of *indexes leaves* was selected and sent to chemical analysis. Entire plants had their leaves divided according to their position: inferior, medium and superior, as an indication of leaves age: older leaves, intermediate and younger ones; the obvious new step consisted of chemical analysis. Grain harvesting for productivity determination was done after complete physiological maturation.

Statistical purpose demanded two designs: one determined that the influences in the cultivars were only in relation to plant height and, in the other hand, liming doses influencesd plant height, stalk diameter, leaf dry matter and tha levels of Mg and Cu; the second design studied, dissociatety, lime levels influences and leaf position for each cultivars. In tolerant cultivar liming interfered in the levels of P, K, Mg and Zn; leaf position interfered in the levels of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn, besides a verified interaction of both factors for Ca. In sensitive cultivar liming interfered in the levels of Mg and Al, and the leaf position in the levels of N, P, Ca, Mg, Zn and Mn; there was a significative interaction between the two factors for Fe presence.

For nutrients extraction calculation in both cultivars, Fe and Al demonstrated an absortion diminution in applied crescent doses of lime; N, P, K, Ca, Mg, , Zn, Cu and Mn presented increase absortion as a result of liming correction.

As a general rule, in an acid soil were confirmed beneficial effects in liming application and in aluminum neutralization for the development, morphological characteristics and nutritional parameters of corn plants.

1 INTRODUÇÃO

Alta produtividade é resultado da soma de diversos fatores de produção, havendo contribuição individual e indispensável de cada um deles. Queda no rendimento pode ser ocasionada pela carência de apenas um fator, mesmo que haja grande disponibilidade dos demais, com o que tal fator se torna limitante.

A agricultura, de modo geral, apresenta não somente um mas inúmeros problemas, dentre os quais se destacam a acidez do solo e a presença de alumínio trocável, fatores considerados limitantes em mais da metade dos solos brasileiros com potencial agrícola (ABRAHÃO, 1985) e em 60% dos solos do Estado do Paraná (SEAB, 1987). O Brasil é um país em que predomina o clima tropical e subtropical, com altos índices de precipitação em grande parte do território, determinando regiões assaz descomedidas e com características ácidas de solo. Tais solos assumem grande importância agrícola graças à facilidade na correção da acidez e à boa distribuição de minas de calcário pelo nosso país (ABRAHÃO, 1985); eles são alvo de pesquisas que visam ao desenvolvimento do seu potencial produtivo.

Atualmente podemos encontrar, no Brasil e em diversos países, vários trabalhos científicos que versam as questões de acidez do solo e a presença de alumínio trocável, porém a maioria deles conduzidos sob controle, em casa de vegetação e em solução nutritiva, com o que se desconsidera toda uma série de influências externas. Na busca de situação mais real, fazem-se experimentos de campo, onde a cultura do milho (*Zea mays* L.) tem sido a mais utilizada, principalmente pela sua importância econômica e pela facilidade de se encontrarem híbridos comerciais com diferente suscetibilidade à acidez do solo e à toxidez do alumínio.

encontrarem híbridos comerciais com diferente suscetibilidade à acidez do solo e à toxidez do alumínio.

Perante tal situação, desenvolveu-se o presente trabalho, com estes objetivos: **verificar a influência dos níveis de calagem de solo álico, característico da região sul do Paraná, na composição mineral das folhas, nos parâmetros morfológicos, na produtividade de dois cultivares de milho e no acúmulo de nutrientes entre as folhas de diferentes idades.**

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor compreensão dividiu-se o texto em diversos assuntos agrupados em tópicos, com ênfase na importância individual, além da contribuição conjunta dos fatores abordados no trabalho.

2.1 ACIDEZ DO SOLO E PRESENÇA DO ALUMÍNIO TROCÁVEL

Para os profissionais que atuam na área agrônômica, o manejo que envolve solos ácidos é extremamente comum. A presença do caráter ácido do solo pode ser de origem natural, solo que já se formou baixa disponibilidade de nutrientes na sua constituição, ou pode ser consequência de processos pedogenéticos de formação, onde se favoreceu a perda de elementos como potássio, sódio, cálcio, magnésio e outros (MELLO, 1985). A acidez e a presença do alumínio nos solos são alvos diretos deste estudo: constituem como a base da discussão, uma vez que os seus efeitos determinam grande parte dos resultados que aqui se avaliam.

2.1.1 APRESENTAÇÃO E FATORES QUE INFLUENCIAM A ACIDEZ E A PRESENÇA DO ALUMÍNIO NO SOLO

A presença do íon de hidrogênio dissociado na solução do solo, proveniente da liberação iônica pelas raízes das plantas, da mineralização e

nitrificação de materiais orgânicos ou da hidrólise de substâncias (CAMARGO e FURLANI, 1989) é representada pelo índice de pH e se constitui na acidez ativa, ao passo que o hidrogênio não dissociado e o alumínio são responsáveis pela acidez potencial (COLEMAN *et al.* 1959). Para CAMARGO e FURLANI (1989) a contribuição do hidrogênio trocável na acidez pode ser pequena em muitos casos, assumindo o alumínio trocável grande importância, visto que, segundo RAIJ (1988), se trata de cátion com caráter ácido, porquanto em solução sofre hidrólise, que libera íons de hidrogênio. Além disso, MELLO *et al.* (1987) afirmam que o Al é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, encontrado nos solos em elevadas concentrações e com certa facilidade. RAIJ (1988) comenta que a presença do elemento no solo ocorre naturalmente, originado pela dissolução de minerais ricos em alumínio. PIONKE e COREY (1967) confirmaram a importância do elemento e o dividiram em duas formas classificadas como trocável (Extraída por 1N KCl) e não trocável (Extraída por pH 4.8 N NH₄OAc.). As suas atividades estão diretamente relacionadas com o pH do solo, e dependem também da presença de matéria orgânica e dos minerais de argila. MARION *et al.* (1976), além de concordarem com a afirmação anterior, enfatizam como importante componente controlador da solubilidade do alumínio o grau de descomedimento que interfere na composição mineral dos solos.

Além da contribuição na acidez, o alumínio tem grande importância pela toxicidade causada às plantas (SHUMAN, 1995): consideram-se tóxicas tanto as formas monoméricas quanto as poliméricas, apesar de existir certo grau de tolerância, que difere entre as formas do elemento e conforme a espécie vegetal utilizada (CAMARGO e FURLANI, 1989).

BENNET : BREEN (1991) relataram alguns efeitos do alumínio nas plantas como declínio na síntese de DNA e menor atividade mitótica e meristemática, o que prejudica a divisão celular e o crescimento radicular. A presença do alumínio trocável promove, segundo MALAVOLTA *et al.* (1989), a ocorrência de células binucleadas no meristema radicular. Para TISDALE *et al.* (1985) a formação de pectatos de Al confere rigidez à parede celular, com prejuízo do desenvolvimento radicular.

FOY (1988) apontou como a primeira expressão da toxidez do alumínio a diminuição da absorção de cálcio, conseqüência da competição por sítios de absorção. Além disso, comenta que as formas de alumínio fitotóxicas ainda não foram precisamente identificadas, mas geralmente ocorrem como $Al(OH)_3$.

De modo geral, a maioria das plantas cultivadas é sensível às altas concentrações de alumínio; a sua toxicidade constitui sério problema em solos ácidos, apesar de existir a possibilidade de serem selecionadas algumas plantas tolerantes. Como vimos anteriormente, a presença do alumínio em níveis tóxicos, ou seja, além da tolerância da planta cultivada, depende de diversos fatores: pH do solo, presença de matéria orgânica e minerais de argila, concentração de cationes e anions e a solubilidade de outros sais (PIONKE e COREY, 1967; MARSCHNER, 1985; CAMBRAIA e CAMBRAIA, 1995).

Assim, os resultados obtidos serão sempre muito específicos para as condições experimentais impostas em cada trabalho, em virtude da presença e do nível de interferência de cada fator.

2.1.2 AMENIZAÇÃO DO EFEITO TÓXICO POR COMPOSTOS ORGÂNICOS

A complexão do Al trocável com substâncias orgânicas foi observada por diversos autores e deve ser discutida pela importância que assume, visto que interfere na acidez do solo e na recomendação de calagem. No trabalho desenvolvido por ERNANI e GIANELLO (1982), a incorporação de resíduos orgânicos ao solo provocou diminuição nos teores de alumínio; houve formação de precipitados e aumento do pH do solo. FARINA e CHANNON (1991), mediante a comparação entre solos com diferentes teores de carbono, atribuíram à complexão orgânica a diminuição dos teores de hidrogênio e alumínio disponíveis e o aumento de produção em plantas de milho.

LUNGU *et al.* (1993), avaliando duas safras de milho em solos de pH próximo a 4,0 e teor de Al trocável em torno de $1,3 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, observaram que a calagem associada à aplicação de esterco promoveu aumento de pH e neutralização de Al mais eficiente, quando comparada à aplicação isolada de até 6,0 toneladas de calcário por hectare. Acredita-se, neste caso, que os compostos orgânicos do esterco tenham funcionado como agentes quelantes do Al, diminuindo-lhe a sua fitotoxicidade.

GUILHERME *et al.* (1989) comprovaram o efeito tamponante dos compostos orgânicos em solos com alto teor de carbono. MIYAZAWA *et al.* (1992) observaram a amenização da toxicidade do Al no sistema radicular de trigo pela complexão com ácidos orgânicos; segundo os autores, complexos Al-ácidos orgânicos são menos tóxicos que o Al iônico. Segundo MACHADO e GERZABEK (1993) e MENDONÇA e ROWELL (1994), a presença de alumínio complexado na matéria orgânica diminui a absorção do elemento pela planta,

reduzindo, conseqüentemente, o seu efeito tóxico. Para CAMARGO e FURLANI (1989), formas monoméricas de Al complexadas com fosfatos, com ácidos orgânicos e sulfatos são consideradas menos tóxicas que a forma iônica do elemento.

Nesta etapa, que discute a complexão orgânica e os seus os efeitos, é interessante comentar a observação de KAMPRATH e FOY (1971): afirmaram que, pelo fato de o alumínio ser trivalente, a força de complexão sobre ele é superior a dos cationes bivalentes como o cálcio e o magnésio.

De modo geral, deve-se avaliar a presença de compostos orgânicos nos solos pela importância na interferência de alguns resultados. Não há regra geral, porquanto as interpretações são particulares para cada tipo de solo, considerados os teores iniciais e a composição da matéria orgânica.

2.1.3 EFEITOS E TOLERÂNCIA EM DIVERSAS CULTURAS

Muitos pesquisadores desenvolveram estudos com diversas plantas cultivadas, comprovando os efeitos negativos gerados pela presença do alumínio nos solos. CAMARGO e FURLANI (1989) observaram distúrbios na membrana celular ocasionados pelo Al. MACHADO e GERZABEK (1993) obtiveram, com o aumento da saturação de alumínio do solo, a queda na produção de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*). RHEINHEIMER *et al.* (1994), em experimento com fumo (*Nicotiana tabacum*) em solução nutritiva, observaram isto: plantas com problemas de toxidez de alumínio desde a sua germinação tiveram diminuição da

afinidade pelo potássio, paralisa o seu crescimento e menor formação de matéria seca.

NOBLE *et al.* (1988) correlacionaram diferentes formas de alumínio, presentes na solução nutritiva, com o comprimento do sistema radicular de plantas de soja, e concluíram haver certo grau de interferência. O maior índice de correlação com o comprimento do sistema radicular foi obtido, porém, quando se considerou não somente a presença do alumínio, mas também os níveis de cálcio que estavam sendo avaliados juntamente na solução nutritiva.

LASSEIGNE *et al.* (1996) determinaram influências na absorção de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn e Al na presença do alumínio em solução nutritiva. A concentração de Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Al nos tecidos do vegetal também variou significativamente. Apesar do grande número de elementos que apresentaram interferências, os autores não puderam estabelecer determinado comportamento para cada um dos nutrientes conforme a concentração de alumínio, porquanto houve alteração muito desuniforme dos resultados nas diferentes doses de Al utilizadas e nas diferentes idades da planta que variaram com os dias de amostragem.

LEE (1971), em experimento com doses crescentes de alumínio em solução nutritiva, observou, na cultura da batata, decréscimo acentuado na concentração e absorção de Ca e P; Fe, Zn, Cu e Mn também apresentaram a mesma tendência, porém em menor intensidade. O Al apresentou resposta evidente, com aumento tanto da quantidade absorvida quanto dos teores na planta. Em outro trabalho, LEE (1972) estudou a concentração dos nutrientes: dividiu a planta em parte aérea e sistema radicular, e concluiu que o P tem diminuição do seu teor mais acentuada na parte aérea, ao contrário do Ca, que

decreceu mais no sistema radicular com o aumento do teor de Al na solução nutritiva. Nesse trabalho, o autor observou pouca variação nos teores do Mn, e a relação Mn/Fe diminuiu com os tratamentos.

Em trigo, a absorção e translocação de fósforo, bem como os teores de cálcio, de zinco e manganês da parte aérea, e de magnésio e ferro do sistema radicular foram influenciados pelo alumínio no substrato: houve restrição no crescimento do sistema radicular, que prejudicou a absorção de água e nutrientes (ALVES *et al.*, 1988). Na presença de Al, mesmo em baixas concentrações, o sistema radicular do trigo foi afetado, chegando a ser totalmente inibido em altas concentrações (MIYAZAWA *et al.* 1992).

Em função desses problemas, diversos pesquisadores como QUAGGIO (1985) passaram a observar a existência de comportamento diferenciado entre cultivares quanto ao grau de sensibilidade às condições de acidez de solo, visando à identificação e desenvolvimento dos materiais mais tolerantes. MIYAZAWA *et al.* (1992) concluíram que a formação de complexos de Al com a eliminação de substâncias pelas plantas pode constituir estratégia de proteção dos sítios extracelulares das raízes sensíveis à toxicidade do alumínio. FOY (1988) comenta a formação de capa de mucilagem sobre as raízes, que confere às plantas certa tolerância ao alumínio. BENNET e BREEN (1991) aventaram a possibilidade de ocorrer exclusão do alumínio já absorvido e acumulado nas raízes, diminuindo o efeito tóxico causado pelo elemento. Nas diversas fontes da consulta, que visou a enriquecer a discussão quanto aos mecanismos de tolerância, confirmaram-se as teorias dos acumuladores, com a retenção do alumínio em tecidos de menor atividade, preferencialmente nas raízes, como na

maioria das plantas, mas pode também ocorrer nas folhas mais velhas, como no caso das plantas de chá.

Na discussão sobre o nível de interferência do alumínio e da acidez do solo nas plantas, é interessante acrescentar que, mediante a consulta a diversos autores, se verificou que a tolerância por parte de algumas espécies está relacionada às formas monoméricas, formas que predominam nos solos; estas espécies porém, são suscetíveis à toxidez das formas poliméricas de Al, estudadas em experimentos com solução nutritiva.

FOY e FLEMING (1978) justificam as diferenças nos níveis de tolerância vegetal ao alumínio pelo diversificado grau de capacidade da planta em absorver e translocar o Ca na presença do alumínio.

Boa parte das obras dos especialistas citam as alterações no comportamento com relação à tolerância à acidez e ao alumínio trocável de diferentes cultivares de uma mesma espécie, desde plantas perenes como a videira (FRÁGUAS *et al.* 1989 e FRÁGUAS 1993) e o café (PASSO e RUIZ 1995), até plantas anuais com menor importância econômica, como o amendoim (CAIRES e ROSOLEM 1993a). Além disso, plantas com maior tradição agrícola já possuem adiantado estágio de seleção: ao adquirir as sementes, pode-se optar por um cultivar mais ou menos tolerante, conforme a necessidade do produtor.

GALVEZ e CLARK (1991) estudaram o comportamento de dois cultivares de sorgo, e comprovaram que, apesar de ambos apresentarem problemas de desenvolvimento em solo ácido, um deles absorveu maiores quantidades de N, obteve maior desenvolvimento radicular e produziu mais massa seca que o outro cultivar. Para melhor determinar estes resultados, os autores ofertaram o nitrogênio em diferentes relações entre nitrato e amônia. No tratamento com

maior teor de nitrato, foi observado mais intensamente o efeito do alumínio; no cultivar tolerante, caracterizou-se maior absorção de nitrato e, no sensível, de amônia. Neste caso, os autores atribuem a interferência ao grau de inibição do alumínio sobre a ação da enzima nitrato redutase.

LEE (1971), avaliando o comportamento de diferentes variedades de batata quanto à tolerância ao alumínio, em tratamentos com diversos níveis de concentração do elemento em solução nutritiva, obteve significativa interação dos cultivares com as doses de Al para os teores de K e Mg.

RAMOS *et al.* (1989) diferenciaram cultivares de soja pelo comportamento em diferentes níveis de acidez do solo. MIRANDA *et al.* (1988) observaram variações no desenvolvimento determinadas pela resistência à acidez em experimento com 25 diferentes genótipos de soja; ALVES *et al.* (1988) encontraram diferenças nos resultados, quando comparadas as duas variedades de trigo utilizadas no seu trabalho.

HAIRIAH *et al.* (1991) atribuíram o comportamento diferenciado entre duas variedades de mucuna ao efeito do alumínio do solo, uma vez que praticamente não houve alteração do pH. A presença do alumínio teria provocado deficiência de P e Mg, aumento na concentração de Mn e diminuição nos teores de Ca da planta.

Como se pode observar, na presença do alumínio e em condições de acidez do solo, há interferências na capacidade de absorção e utilização dos nutrientes. Além disso, o nível de influência tende a variar conforme a espécie ou cultivar utilizado. De modo geral, conclui-se que a presença do Al no solo é maléfica para a grande maioria das plantas, e que uma das maneiras de minimizar os prejuízos consiste no desenvolvimento de variedades tolerantes,

com adaptação da planta à condição desfavorável de solo. A alteração das características de solo, adequando-o às exigências da planta, também é possível, como mais uma alternativa viável para contornar o problema, assunto que se discute mais à frente.

2.1.4 EFEITOS E TOLERÂNCIA NA CULTURA DO MILHO

MELO *et al.* (1994) e ROSOLEM *et al.* (1994) afirmaram que a presença de Al no solo não permite boa produção de matéria seca em plantas de milho, porquanto prejudica o desenvolvimento radicular e compromete a absorção dos nutrientes, principalmente do fósforo. RAMIREZ e BERENJEL (1984) observaram menor crescimento das plantas de milho cultivadas no campo, em virtude da interferência do Al na divisão das células da raiz, com prejuízo da absorção e utilização de íons de Ca, Mg e P. BENNET e BREEN (1991) comprovaram a ação fitotóxica do alumínio em plantas de milho, em que distúrbios fisiológicos prejudicaram a divisão celular e o crescimento radicular. FORESTIERI e DE-POLLI (1990) obtiveram queda no rendimento de grãos e plantas subdesenvolvidas, quando cultivadas em condições inadequadas de pH do solo. FURLANI *et al.* (1986b) definiram como consequência da presença de Al uma redução drástica do crescimento radicular de plantas de milho; SILVA *et al.* (1993) atribuíram ao baixo pH a grande incidência de raízes grossas e a pequena presença de raízes finas. Assim, tornam-se evidentes, para o milho como para a maioria das plantas cultivadas, as consequências maléficas de cultivo em condições de baixo pH.

No trabalho desenvolvido por SHAMSHUDDIN *et al.* (1991), confirmaram-se os efeitos fitotóxicos da atividade de diversas formas de alumínio, como por exemplo Al^{+3} , $Al(OH)^{+2}$ e $AlSO_4^+$.

Na procura de outra maneira de minimizar tais problemas, a identificação de materiais genéticos de milho, tolerantes à toxidez do alumínio, assumiu grande importância nos programas de melhoramento, em que se visa à adaptação da cultura a solos ácidos e com a presença do elemento. Para isto existem vários métodos de seleção, considerando-se a ampla variabilidade genética em estudo (FURLANI *et al.* 1986b). Na avaliação da tolerância do milho, devem-se utilizar parâmetros bioquímicos ou fisiológicos de fácil identificação e que, preferencialmente, não resultem na morte prematura da planta. Os mais utilizados estão relacionados com o crescimento da planta, destacando-se entre eles o comprimento do sistema radicular (CAMBRAIA e CAMBRAIA, 1995).

COMIN (1996), avaliando o alongamento radicular absoluto em solução hidropônica de dois cultivares de milho, sendo um considerado sensível (HS 7777) e o outro tolerante ao alumínio (Cargill 525), observou que, apesar de inicialmente (primeiro dia) o Cargill ter-se mostrado inferior em relação ao HS, a partir do terceiro dia, a sua superioridade se concretizou, demonstrando maior tolerância em relação ao cultivar sensível.

BENNET e BREEN (1991), depois de análises químicas de plantas de milho, afirmaram que o alumínio absorvido é preferencialmente retido no sistema radicular, no que concordam com a teoria dos acumuladores, proposta por diversos autores, como mecanismo de tolerância interna de alguns cultivares.

RAMIREZ e BERENJEL (1984) observaram no cultivar sensível um acúmulo de Al nas raízes maior que na variedade tolerante. Segundo os autores,

o cultivar tolerante tem a capacidade de translocar o elemento para a parte aérea do vegetal, porém este transporte de Al é limitado e o aumento no teores de Al da parte aérea ocorre até certo ponto, para não ultrapassar o nível de saturação interna da planta

LUTZ *et al.* (1972b) e FURLANI e HANNA (1984) constataram que há variação quanto à tolerância das plantas refletida no desenvolvimento e na produção de milho. LUTZ *et al.* (1972a) chegaram a caracterizar diferenças na absorção de P, K, Ca e Mg entre diferentes cultivares em condições de acidez. QUAGGIO (1985) comenta a existência de comportamento diferencial entre as espécies quanto ao grau de tolerância às condições de acidez de solo. RAMIREZ e BERENJEL (1984) obtiveram menores concentrações de P, Ca e Mg em variedades suscetíveis, quando comparadas às tolerantes, na presença do alumínio em solução nutritiva. SOUSA *et al.* (1989) desenvolveram estudo com 36 variedades de milho, cultivando-as em solos ácidos, com aplicação de diferentes doses de calcário; obtiveram diversas respostas, agrupando as espécies em 3 classes, conforme a tolerância ao alumínio e a resposta à calagem. KOVACEVIC *et al.* (s. d.), em solos com pH em torno de 4,0, obtiveram produção média de grãos de milho 42% menor (1866 kg.ha^{-1}) no grupo de 6 linhagens susceptíveis à acidez de solo e Al trocável, quando comparada com aquela do grupo de 5 linhagens consideradas tolerantes (3225 kg.ha^{-1}). Além disso, um grupo de 8 linhagens, que incluíam alguns híbridos tolerantes, tiveram produtividade média 22% maior (2655 kg.ha^{-1}) do que outro grupo de 8 linhagens que incluíam alguns híbridos susceptíveis (2183 kg.ha^{-1}).

Observando as significativas respostas dos trabalhos apresentados, verifica-se que a cultura do milho constitui espécie adequada para avaliar as

condições de acidez do solo, além de ter potencial genético de tolerância muito diversificado.

2.2 CALAGEM.

Apesar do avanço contínuo no desenvolvimento genético em busca de materiais tolerantes, e mesmo ocorrendo, em determinadas situações, a amenização do efeito tóxico da acidez e do Al trocável, a aplicação de corretivos, entre eles principalmente o calcário, constitui a mais habitual maneira de contornar tais problemas, com significativos aumentos de produção.

Já estão confirmados inúmeros benefícios ocasionados pela aplicação de calcário em solos ácidos; todavia cumpre estabelecer os limites das quantidades aplicadas e estudar a interferência na disponibilidade e absorção dos nutrientes. Para RAIJ *et al.* (1983) as produções de diversas culturas aumentam com a calagem, mesmo após a neutralização do alumínio tóxico; consideram-se os melhores níveis de saturação de bases acima de 60%. ASCHE (1994) comenta que os benefícios da calagem atingem até mesmo ecossistemas florestais, com aumento da absorção de nutrientes e intensificação do ciclo dos elementos.

SOUSA *et al.* (1989), avaliando a importância da calagem, ressaltaram: pela diversidade de regiões com características próprias de solo, de clima e desenvolvimento encontradas no Brasil, esta deve adaptar-se às condições locais, e deve ser alvo de estudo em todo o território. Como generalidade destacaram a necessidade de homogeneização profunda, que atinja não somente

a camada superficial, senão que permita bom desenvolvimento radicular em todo o perfil do solo.

QUAGGIO (1985) comenta a utilização de diversos métodos para a recomendação da calagem, com destaque dos mais importantes: segundo o autor, o método do alumínio é limitado, precisa de adaptações e, em algumas situações, pode subestimar a necessidade de calcário de algumas culturas. O SMP (SHOEMAKER *et al.* 1961) possui boa base teórica e é mais utilizado nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A recomendação de calagem pelo método da saturação de bases também tem apresentado ótimos resultados e, como no caso do SMP, possui flexibilidade, adaptando-se facilmente às exigências das plantas ou às necessidades do produtor. A recomendação de calagem por incubação é a que mais se aproxima das condições naturais, mas, por ser critério de execução trabalhosa e demorada, a sua utilização é mais restrita a pesquisas científicas.

FARINA e CHANNON (1991) desenvolveram trabalho que avalia os resultados de campo na aplicação de calcário; enfatizaram a necessidade de se considerarem os teores de alumínio na recomendação do nível de calagem.

2.2.1 EFEITOS DA CALAGEM EM DIVERSAS CULTURAS

Trabalhando com solos de baixo pH e, simultaneamente, com elevados teores de Al trocável, FIGUERUELO *et al.* (1993) comprovaram: com a calagem houve eficiente neutralização da acidez, do alumínio e do manganês, além de aumento na disponibilidade de fósforo pela diminuição da adsorção do elemento.

CAIRES e ROSOLEM (1993a) e CAIRES e ROSOLEM (1993b), usando a recomendação de calagem do Estado de São Paulo para a cultura do amendoim, observaram: a saturação de bases, atingida aos 90 e 120 dias após a aplicação do corretivo, foi menor do que a esperada. A calagem não interferiu significativamente nos teores de potássio do solo, apesar de provocar pequena queda; ocasionou aumento na saturação de bases até os níveis de 55 a 60%, com aumento do pH do solo e dos teores de cálcio e magnésio, mas exerceu pouca influência sobre os teores de cálcio em diversas partes da planta de amendoim. CHAVES *et al.* (1991), em estudos com café, também observaram que a aplicação de sais de cálcio aumentou os teores de cálcio total e livre no solo e, quando se tratava mais especificamente do calcário, houve diminuição do alumínio trocável do solo e aumento na produção de matéria seca.

Em solos cultivados com alfafa, a aplicação de calcário provocou diminuição do alumínio trocável, aumento do pH e dos teores de cálcio e magnésio no solo e melhoria na produção. Na ausência do alumínio, constatou-se maior desenvolvimento radicular, conferindo à planta mais resistência às secas e, quanto ao solo, houve melhoria do perfil pela maior adição de matéria orgânica com o passar dos anos (KORNELIUS e RITCHEY, 1992).

ROSOLEM *et al.* (1992) destacaram a aplicação de calcário como meio de resolver problemas de toxidez de manganês na soja cultivada em solos com grande disponibilidade do elemento. Já TANAKA *et al.* (1992), que trabalharam em solos com baixa disponibilidade de manganês, constataram deficiência do elemento provocada por doses elevadas de calcário.

Diversos outros autores determinaram efeitos da aplicação de calcário na cultura da soja: maior acúmulo de massa seca e aumento nos teores de N e P

foliar (RAMOS *et al.* 1989); aumento no Ca, no Mg e Cu e diminuição de K, de Mn e Zn da parte aérea (MUCHOVEJ *et al.* 1993); aumento nos teores de S e pequena interferência quanto aos micronutrientes, com exceção do B, que teve os seus teores foliares reduzidos com o aumento de pH (QUAGGIO *et al.* 1993); decréscimo na concentração de Zn foliar, enfatizado nos tratamentos pelo efeito diluição, ocasionado pelo maior desenvolvimento da planta com o aumento do pH (MASCARENHAS *et al.* 1988).

QUAGGIO *et al.* (1993) obtiveram com a calagem uma resposta muito acentuada em soja pela alteração de características químicas, físicas e biológicas e melhor aproveitamento de P, de K e também de N justificado pela melhoria da fixação simbiótica. Os autores também comentam: incorporação mais profunda do corretivo aumenta o pH e os teores de cálcio e magnésio em maior volume de solo, favorecendo o desenvolvimento do vegetal, proporcionando melhores condições para suportar condições adversas, como estresse hídrico, por exemplo. BUZETEI *et al.* (1991), que também trabalharam com soja, resumiram o efeito da calagem no aumento da disponibilidade de Ca, de Mg e P e na diminuição dos teores de Al e Zn do solo.

RAIJ *et al.* (1994), aplicando calcário em área de cultivo de soja, concluíram que a redução da acidez se restringiu à camada arável, mesmo com aplicação de elevadas doses de calcário. Seguindo o raciocínio anterior, uma vez que não dispomos dos dados, espera-se que o desenvolvimento radicular, em grande parte, também se tenha restringido a essa profundidade. A comprovação pode ser baseada no trabalho desenvolvido com cana-de-açúcar por MORELLI *et al.* (1992): além de observarem aumentos na produção com a aplicação de doses crescentes do corretivo, determinaram, mediante avaliação do sistema radicular,

a sua restrição aos 25 centímetros superficiais, região onde houve decréscimo do teor de Al trocável, aumento do pH, da saturação de bases e dos teores de Ca e Mg.

SUBRAMANI e KANNAIYAN (1988) obtiveram grandes produções de arroz graças à aplicação de calcário; GUILHERME *et al.* (1989) observaram aumento na produção de matéria seca com a prática da calagem associada à adubação fosfatada. A calagem aumentou os teores de Ca e Mg do solo, mas diminuiu a absorção de P nos solos com pouca matéria orgânica, os quais apresentaram maior elevação do pH.

2.2.2 EFEITOS DA CALAGEM NA CULTURA DO MILHO

PIHA (1995) desenvolveu experimento com plantas de milho; atribuiu ao aumento de pH o grande rendimento da cultura. Para MELO *et al.* (1994), a calagem proporcionou aumento na produção de matéria seca. Segundo FORESTIERI e DE-POLLI (1990), a calagem melhorou a assimilabilidade de alguns nutrientes pela planta, aumentando a concentração de N da parte aérea. ROSOLEM *et al.* (1994) confirmaram os efeitos positivos da aplicação do calcário, entre eles a melhoria dos parâmetros morfológicos das raízes de milho e o aumento da absorção de nutrientes como o N, P, K, Ca e Mg. Também trabalhando com milho, GALRÃO (1995) observou que a aplicação de calcário interferiu no teor foliar de zinco. LUTZ *et al.* (1972a) constataram que a absorção e concentração de P, de K, de Ca e Mg em milho são afetadas pela variação do

pH do solo. LUTZ *et al.* (1972b) concluíram que os teores de Fe não foram influenciados.

SHAMSHUDDIN *et al.* (1991) afirmaram: com a calagem e conseqüente aumento de pH do solo e neutralização do Al, a concentração de Ca na planta dobrou, os teores de Mn, Fe e Al sofreram drásticas reduções e o rendimento de grãos aumentou significativamente.

RAMIREZ e BERENJEL (1984) observaram aumento da absorção do fósforo com a diminuição do teor de alumínio disponível no solo e decréscimo na concentração de magnésio do sistema radicular do milho, ao passo que o magnésio e o cálcio da parte aérea se mantiveram normais. MARTINEZ *et al.* (1988) comprovaram os efeitos positivos da calagem para a cultura do milho e destacaram: incorporação mais profunda do corretivo poderia promover melhores resultados, principalmente em situações adversas como de estresse hídrico, em que plantas com maior desenvolvimento radicular teriam resistência mais acentuada. Neste caso deve-se aplicar maior quantidade do corretivo por unidade de área, porquanto a recomendação é baseada em volume de solo, utilizando-se para o cálculo uma profundidade média de 20 centímetros.

De qualquer forma não se discutem os efeitos positivos da calagem, tanto para a cultura do milho como para a maioria das espécies cultivadas, com reiterado alerta para a necessidade de se estabelecerem níveis adequados para cada situação.

2.3 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE PLANTAS DE MILHO

Quando se desenvolve trabalho que versa o comportamento da fertilidade de uma área, faz-se avaliação direta dos resultados obtidos mediante as análises de solo dos tratamentos. Em determinadas situações, torna-se mais interessante avaliar o nível da fertilidade por meio da análise realizada na planta, que também pode constituir matéria de estudo, além de se tratar do verdadeiro extrator de elementos disponíveis do solo.

Seguindo esse raciocínio, diversos pesquisadores passaram a utilizar os vegetais como extratores de nutrientes e como parâmetros de avaliação da fertilidade. Entre as espécies mais utilizadas nas determinações destaca-se a cultura do milho, possivelmente em virtude do alto nível de conhecimento tecnológico sobre o vegetal.

Em função da importância da avaliação de plantas, descreveu-se este tópico, que aborda primeiramente questões relacionadas com os métodos e as épocas de amostragem; em seguida se discutem os níveis normais dos principais nutrientes nas plantas de milho e alguns problemas de deficiência.

2.3.1 MÉTODOS E ÉPOCAS DE AMOSTRAGENS

Uma das maneiras de avaliar corretamente o estado nutricional das plantas é por meio da análise foliar, que exige estudo comparativo com testemunhas, ou com outros trabalhos desenvolvidos no mesmo assunto, uma vez que os teores normais variam conforme o estágio de desenvolvimento da planta, com o tipo do tecido analisado e com a quantidade e forma da adubação

realizada. Pesquisas provenientes do Estado de São Paulo evidenciaram relações entre a análise foliar e o estado nutricional de plantas de milho, tornando mais evidentes as respostas à adubação. Para diagnóstico de plantas de milho, normalmente efetuam-se coletas até 60 dias após o plantio, sendo ainda possível corrigir algumas deficiências (GALLO *et al.* 1965). Para FURLANI *et al.* (1977), que estudou a marcha de absorção do milho, os períodos de maior necessidade de elementos essenciais e as quantidades mínimas que devem ser restituídas respondem a certo padrão de igualdade dentro da espécie, e são importantes para a manutenção da fertilidade do solo. No Brasil alguns estudos feitos sobre absorção destacam concentrações máximas dos elementos nas folhas e nos colmos aos 60 dias e, nos grãos, por ocasião da maturação do milho, com exceção do fósforo, do silício, do cálcio e do potássio, que sofreram diferenças conforme a variedade cultivada.

Outros autores procuram ser menos confiantes no consentâneo à avaliação nutricional do milho pela análise foliar. VASCONCELLOS *et al.* (1995) concluíram: concentração dos nutrientes na planta não indica necessariamente cultivar com maior produção de grãos por unidade de nutriente absorvida, porquanto a eficiência de conversão, além de variar com a linhagem, varia conforme condições externas e práticas de manejo. Assim, devem-se considerar as quantidades de nutrientes translocadas e não somente as absorvidas. Para ANDRADE *et al.* (1975a) a produção de grãos não é necessariamente traduzida por diferenças na acumulação de matéria seca da parte vegetativa entre os cultivares de milho. ANDRADE *et al.* (1975b) encontraram diferenças nas concentrações de vários elementos, conforme a variedade de milho, 60 dias após o plantio, mas concluíram para efeitos práticos: podem-se tratar igualmente

cultivares com semelhantes potenciais produtivos, determinando teores adequados para o desenvolvimento normal da cultura.

Basicamente acredita-se que a concentração dos nutrientes na planta constitui certa maneira de avaliar as interferências de fatores externos sobre o vegetal e até mesmo sobre o solo; é necessário apenas que o pesquisador tenha consciência do que realmente representam os dados analisados. KARLEN *et al.* (1988) desenvolveram trabalho com plantas de milho, quando correlacionaram o acúmulo de matéria seca com a absorção de diversos nutrientes, demonstrando a significativa interferência da massa seca foliar nos teores dos nutrientes. Segundo os autores, o desenvolvimento da planta influencia diretamente a concentração foliar e demonstra claramente as diferenças entre os parâmetros de absorção e concentração de nutrientes nas plantas.

2.3.2 RELAÇÃO ENTRE OS NUTRIENTES E O MILHO

A cultura do milho responde bem às adubações nitrogenadas (MARCANO *et al.* 1994), afirmação comum aos autores consultados, que também comentam parâmetros relacionados com a acidez, assunto que nos interessa e é passível de discussão. A aplicação de nitrogênio resulta em aumento do rendimento de grãos, da matéria seca e do teor foliar de N na cultura do milho, tanto para condições de pH do solo em torno de 6,0 (MELLO *et al.* 1988 e MELO FILHO e SILVA 1993) quanto na presença de Al, com pH do solo próximo a 4,4 (MELGAR *et al.* 1991). SANGOI e ALMEIDA (1994) comentaram a influência do pH na mineralização da matéria orgânica, importante fonte de N para as plantas. Para CERETTA *et al.* (1994) e TEIXEIRA *et al.* (1994), adequadas condições de pH

permitiram bom desenvolvimento e grande fixação de N por leguminosas, garantindo ao milho, plantado em sucessão, maior rendimento de grãos e maiores teores de N foliar. FORESTIERI e DE-POLLI (1990) evidenciaram aumentos nas concentrações de N nas plantas com a calagem. PAULETTI (1995) obteve variação significativa nos teores de N das *folhas índices* para a interação dos cultivares utilizados com as doses crescentes de calcário aplicadas.

O fósforo também tem elevada importância para a cultura do milho, porque este responde bem às suas adubações, por adversas que sejam as condições de acidez (RAMIREZ *et al.* 1988 e OKALEBO *et al.* 1994). Para KLEPKER e ANGHINONI (1995) a elevação dos teores de P em solo com pH próximo a 6,0 determinou maior rendimento de matéria seca, maior teor de P na planta e maior relação de P entre a parte aérea e a radicular. FORNASIERI FILHO *et al.* (1994) também observaram que, em plantas de milho, a adição de P em solo calcariado aumentou a produtividade da cultura, porém os teores foliares se mantiveram estáveis, suspeitando-se de possível efeito de diluição pelo maior desenvolvimento da planta ou da existência de interação negativa com o zinco na absorção, o qual foi aplicado simultaneamente com o fósforo. Tal interação já foi discutida por diversos autores; convém citá-la, mas vale lembrar que as interferências na dinâmica do fósforo são inúmeras. Para CASTILHOS e ANGHINONI (1988), a taxa de absorção de P está mais relacionada com a demanda da parte aérea do que com a raiz, apesar de existir relação entre a absorção de P e o desenvolvimento radicular. Existe preocupação com a indisponibilidade do fósforo em baixos pH; a sua absorção depende muito da sua retenção nos minerais de argila; uma das formas de melhoria na disponibilidade é mediante o aumento do pH, o que tornou mais evidentes os resultados do

trabalho realizado por SOUSA e VOLKWEISS (1987), em que a aplicação de P associada à calagem ocasionou aumento no rendimento de matéria seca do milho. LUTZ *et al.* (1972a) confirmaram o aumento na absorção de P em plantas de milho ocasionado pela elevação do pH com a calagem, porém observaram a diminuição na concentração do elemento na planta, em provável consequência do maior crescimento do vegetal.

Com relação ao potássio, FURLANI *et al.* (1986a), ofertando a mesma quantidade de K a diferentes linhagens de milho, observaram variações no peso da matéria seca produzida. Estas variações, conquanto presentes também na parte aérea, foram mais visíveis no sistema radicular, e permitiram aos autores subdividir as linhagens em 3 categorias, conforme a eficiência de produção de matéria seca, a partir do mesmo nível de potássio. As variações nos teores foliares foram menos acentuadas, uma vez que ocorreu o efeito diluição, ou seja, algumas plantas absorveram grande quantidade de potássio e, devido ao bom desenvolvimento, finalizaram com teores foliares normais, semelhantemente àquelas que absorveram pouco potássio e tiveram modesto crescimento. O mesmo comportamento foi observado por LUTZ *et al.* (1972a), em cuja pesquisa a calagem causou aumento na quantidade de K absorvida, com teores estáveis nas plantas de milho.

O cálcio e o magnésio, muitas vezes, têm os seus teores significativamente acrescidos nas plantas de milho com a calagem, o que se evidencia pelo fato de serem constituintes do próprio corretivo, além de apresentarem prejuízos na absorção em baixo pH e na presença do alumínio (LUTZ *et al.* 1972a, MALAVOLTA *et al.* 1989 e FRÁGUAS 1993). Para RAMIREZ e BERENJEL (1984), que também trabalharam com plantas de milho, porém em

solução nutritiva, o Al influenciou os teores de Mg, mas não os de Ca. Os autores também destacaram a variação na concentração dos nutrientes entre as diferentes variedades utilizadas no experimento.

O enxofre não foi alvo do presente trabalho, mas convém citar que tanto FORESTIERI e DE-POLLI (1990) como VILELA *et al.* (1995), com a aplicação de S, obtiveram maior produção de matéria seca, aumento no rendimento de grãos de milho e interferência no teor de N da parte aérea. Assim como para o N, o S pode ter a sua liberação favorecida pela calagem e melhoria das condições de decomposição da matéria orgânica.

Com o avanço da tecnologia e com o aumento das produções, os micronutrientes estão sendo cada dia mais estudados; assumem atualmente considerável importância, respondendo ou não às aplicações, conforme a situação. Segundo MELLO *et al.* (1988) Cu e Zn não interferiram na produção de campo do milho em solo com pH 6,0. Segundo FORESTIERI e DE-POLLI (1990), a aplicação de micronutrientes no milho cultivado em adequadas condições de pH teve pouco resultado na produção de matéria seca.

Muitos estudos citam associações entre aplicações de micronutrientes e aumentos de pH que interferem significativamente nas concentrações dos elementos nas plantas. É o caso de BRITTO *et al.* (1971), KORNDÖRFER *et al.* (1987), GALRÃO (1994) e GALRÃO (1995), em cujas aplicações de Zn em conjunto com a calagem promoveram melhoria de parâmetros morfológicos e componentes de rendimento, além de aumentarem os teores de Zn nas folhas de milho.

Quando se discute a concentração dos nutrientes na planta, principalmente os micronutrientes, deve-se tomar muito cuidado com a

interferência de outros fatores, que podem alterar totalmente os resultados esperados. Como exemplo, citamos o trabalho de FORNASIERI FILHO *et al.* (1994): doses crescentes de Zn, aplicadas ao solo em adequadas condições de pH para a cultura do milho, resultaram na diminuição dos teores foliares do elemento, conseqüência neste caso provavelmente de competição na absorção entre o Zn e o P (interação negativa), que também havia sido aplicado. Desta maneira, o comportamento de determinado nutriente pode fugir da expectativa esperada pelo pesquisador, ficando difícil entender e justificar o acontecimento. É interessante acrescentar que, apesar de os problemas surgirem também em experimentos conduzidos em casa de vegetação, o número de agentes externos que interferem nos resultados de campo é bastante superior, expondo-o mais às alterações.

LINS e COX (1988) afirmaram que o aumento do pH do solo promovido pela calagem não interferiu na disponibilidade do Zn, mas houve diminuição na concentração do nutriente nas folhas de milho. LUTZ *et al.* (1972b) também observaram a diminuição dos teores de Zn na planta, neste caso evidenciado pela diminuição na disponibilidade do elemento no solo. THOMPSON (1962), porém, não observou variação na concentração foliar de Zn em função do aumento de pH com a adição de calcário.

O cobre é nutriente cuja discussão é mais recente; problemas relacionados com a sua carência começaram a surgir nos últimos anos com a purificação e com o controle de fertilizantes e defensivos agrícolas, uma vez que o cobre era contaminante ou até mesmo constituinte de diversos produtos utilizados na agricultura. LUTZ *et al.* (1972b) determinaram comportamento diferenciado da concentração de Cu em plantas de milho: os teores diminuíram com a variação

do pH de 5.1 para 6.1, porém haviam aumentado com a elevação do pH de 3.9 para 5.1, apesar da tendência geral de diminuição no experimento.

O ferro tem comportamento assaz variável, cuja solubilidade está muito relacionada com o poder de oxidorredução dos solos que, por sua vez, sofrem a influência de diversos fatores: por exemplo, umidade, pH e presença de outros cátions. A instabilidade do elemento despertou o interesse de muitos pesquisadores; assume o ferro o papel de um dos nutrientes mais estudados. Como parâmetro comparativo, citamos os trabalhos tanto de LUTZ *et al.* (1972b) como de QUAGGIO *et al.* (1985); para o primeiro houve pouca interferência do aumento de pH sobre os teores de Fe na planta, enquanto para o segundo a adição de calcário provocou aumento na concentração do nutriente. No trabalho desenvolvido por PAULETTI (1995), o ferro apresentou diferença significativa para interação do cultivar com as doses crescentes de calcário aplicadas ao solo.

O manganês tem comportamento mais previsível que o ferro e, na maioria das situações, a sua concentração na planta diminui com o aumento do pH, conseqüência da diminuição na sua disponibilidade no solo (MENGEL e KIRKBY 1987). O decréscimo nos teores foliares de Mn com a calagem também foi observado por YORK *et al.* (1954), por THOMPSON (1962), por LUTZ *et al.* (1972b) e PAULETTI (1995).

O alumínio possui comportamento semelhante ao Mn; tanto LUTZ *et al.* (1972b) como PAULETTI (1995) observaram diminuição na concentração do elemento nas plantas de milho com a calagem, resultado justificado pela queda na disponibilidade do elemento no solo.

Como se observa, as interferências na absorção e nos teores dos diferentes nutrientes nas plantas de milho estão sujeitas a uma série de fatores,

com maior ou menor influência, conforme a situação; fica difícil estabelecer adequado nível foliar numa situação geral. Para afirmar, em determinada situação, que algum nutriente se encontra em níveis tóxicos ou de deficiência na planta, deve-se analisar todas as interferências externas.

2.4 SÍNTESE DA REVISÃO

A acidez do solo e a presença do alumínio trocável são considerados como alguns dos maiores responsáveis pela baixa produtividade agrícola brasileira: seja pela consequência direta dos seus efeitos, comprometendo os resultados de produção; seja pela amplitude do problema, com enorme área de abrangência do nosso território.

A origem da acidez pode ser natural ou ocasionada por favorecimento da perda de determinados elementos do solo. Basicamente se constitui na presença do íon de hidrogênio dissociado na solução do solo, mas é acrescido pelo hidrogênio não dissociado e pelo alumínio.

O alumínio é elemento abundante na crosta terrestre; além de apresentar o caráter ácido, possui toxicidade sobre a maioria das plantas cultivadas. Da mesma forma, o manganês, por ter características semelhantes ao alumínio, pode prejudicar o desenvolvimento vegetal.

O efeito negativo do alumínio sobre as plantas é atribuído a uma série de distúrbios fisiológicos, que interferem no metabolismo do vegetal e no mecanismo de absorção, comprometendo o sistema radicular e o desenvolvimento da planta.

O alumínio é encontrado sob diversas formas, monoméricas e poliméricas, que diferem no grau de toxidez. Além disso, a toxidez depende da solubilidade de tais formas que, por sua vez, variam conforme o pH do solo, a presença de matéria orgânica e minerais de argila, a presença de outros cátions e a solubilidade de outros sais.

Para contornar os problemas ocasionados pela acidez do solo e a presença do alumínio trocável, vem sendo recomendada a prática da calagem, que tem proporcionado inúmeros benefícios aos usuários. A neutralização do pH do solo e a retenção do alumínio promovem uma série de efeitos benéficos aos vegetais, que são diretamente favorecidos com a aplicação de calcário.

Outra maneira de amenizar os efeitos negativos da acidez do solo e da presença do alumínio é o desenvolvimento de cultivares tolerantes: já se confirmou a diferente sensibilidade à acidez e ao alumínio de plantas de diferentes espécies e até de linhagens de uma mesma espécie, como o milho, por exemplo.

Deste modo, é interessante avaliar com mais pormenores os efeitos da calagem em plantas de diferente suscetibilidade à acidez e ao alumínio. Na avaliação destes efeitos, devem-se observar parâmetros que possam fornecer resultados interessantes. Além disso, importa seguir determinado sistema de coleta dos resultados, para que haja parâmetros comparativos no momento da discussão.

Com o objetivo de se realizar estudo comparativo, adaptou-se uma tabela de MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995), na qual se definiu um intervalo de concentração do alumínio e de alguns nutrientes normalmente encontrados em plantas de milho (Tabela 1).

TABELA 1: TEORES FOLIARES CONSIDERADOS ADEQUADOS DE ALGUNS NUTRIENTES E ALUMÍNIO PARA PLANTAS DE MILHO

MACRONUTRIENTES		MICRONUTRIENTES + Al	mg/kg
N	27,5-32,5 ⁽¹⁾	Fe	50-250 ⁽¹⁾
P	2,20-3,50 ^{(1) e (2)}	Zn	15-20 ^{(1) e (2)}
K	17,5-22,5 ⁽¹⁾	Cu	6-20 ^{(1) e (2)}
Ca	2,50-4,50 ^{(1) e (2)}	Mn	50-150 ⁽¹⁾
Mg	2,50-4,00 ⁽¹⁾	Al	20-250 ⁽³⁾

FONTE: (1) MALAVOLTA *et al.* (1989);

(2) TRANI *et al.* (1983);

(3) PAULETTI (1995).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho avaliou os resultados do segundo ano do experimento com plantas de milho (safra 94/95), conduzido no campo. Para maiores esclarecimentos foi necessário fazer algumas observações relacionadas ao primeiro ano de cultivo (safra 93/94), objeto de estudo na dissertação de mestrado desenvolvida por PAULETTI (1995).

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DE ÁREA

O primeiro requisito para a escolha do local de instalação do experimento era uma elevada concentração de alumínio trocável no solo; em seguida observaram-se outras características necessárias para a boa condução, como disponibilidade de mão-de-obra e insumos, isolamento e facilidade de acesso, além de adequadas condições de clima e topografia.

A área escolhida pertence ao Centro de Estações Experimentais do Cangüiri (Figura 1), vinculada ao Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Paraná, localizada no município de Pinhais, PR, na longitude 49°8'-W, na latitude 25°25'-S, e na altitude de 930 m em relação ao nível do mar. O clima está classificado, segundo (IAPAR, 1984), como Cfb (subtropical úmido mesotérmico), com precipitação média anual de 1500 mm e temperatura média máxima de 24°C e mínima de 12°C.

Quanto ao solo, trata-se de um latossolo vermelho amarelo com as seguintes características físicas e químicas determinadas em duas profundidades de amostragem. (Tabela 2):

TABELA 2: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA GERAL DO SOLO UTILIZADO, ANTES DA IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Prof. (cm)	pH	Al	H+Al	Ca	Mg	K	T	P	m	S	MO	Areia	Silte	Argila
	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³			mg.kg ⁻¹			%						
00-20	4.4	4.4	12.8	1.3	1.3	0.13	15.5	1.0	61.7	2.73	9.4	16.8	27.2	56.0
20-40	4.4	4.7	13.9	0.7	0.5	0.06	15.2	1.0	76.9	1.26	4.9	18.4	21.6	60.0

A área foi cultivada pelo segundo ano após mais de 15 anos de pousio, quando a vegetação era estepe gramíneo-lenhosa (vegetação rasteira). No lado norte encontra-se mata secundária, No sul culturas anuais, no leste e oeste a vegetação anteriormente descrita.

FIGURA 1. VISÃO GERAL DO EXPERIMENTO



3.2 INCUBAÇÃO

A incubação foi realizada antes do primeiro ano de cultivo para obtenção da curva de indicação das necessidades de calcário. Para total correção do alumínio foi necessário o equivalente a 10,5 toneladas de calcário por hectare, considerando-se este com PRNT de 100%. O calcário aplicado possuía 28,5 % de CaO e 19,0 % de MgO e PRNT de 90,1%.

3.3 IMPLANTAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Utilizou-se delineamento de blocos ao acaso, com os tratamentos constituídos de 4 níveis de correção, distribuídos nas parcelas e subdivididos em faixas horizontais, formando duas subparcelas com dois cultivares de milho, um sensível e outro tolerante à toxidez do alumínio, ambos híbridos simples.

Cada parcela tinha uma área de 20m por 15m, formando os blocos (4 parcelas) com 20m por 60m. Os cultivares dividiram cada parcela em duas subparcelas, que possuíam, então, área de 10m por 15m.

Atribuiu-se uma faixa de 2 metros em cada linha lateral como bordadura, a qual foi desconsiderada na determinação da área útil do experimento. Deste modo, a área útil de cada subparcela era de 66m², ou, 11m por 6m.

Os níveis de correção obtidos por meio da incubação anteriormente descrita foram:

T3 = 10,5 toneladas de calcário por ha, total neutralização do Al.

T2 = 7,0 toneladas de calcário por ha, 66,6% do T3.

T1 = 3,5 toneladas de calcário por ha, 33,3% do T3.

T0 = Sem aplicação de calcário.

Cultivares de milho utilizados:

Cargill = C 525 M (considerado tolerante à presença do Al).

HS = HS 701 B (considerado sensível à presença do Al).

A calagem foi feita em duas etapas, dividindo-se igualmente as partes; a segunda foi aplicada 4 meses após a primeira, proporcionando incorporação mais uniforme. O implemento utilizado para essa operação foi uma grade pesada. Houve também melhor homogeneização da camada arável mediante o cultivo de aveia branca (*Avena sativa*, L.) no inverno, semeada após a realização da primeira calagem.

3.4 PRIMEIRO ANO DE CULTIVO

O preparo da área, inicialmente, constituiu na eliminação da vegetação mais grosseira mediante roçada, destoca e limpeza, seguida de aração profunda, para a incorporação da vegetação rasteira, e gradagem para nivelamento.

Em novembro de 1993, foi feito o primeiro plantio do milho, utilizando-se os seguintes cultivares nas subparcelas: Cargill 525M considerado tolerante à presença do Al tóxico, e HS 7777 considerado sensível.

A adubação foi de 300 kg por hectare da formulação 04-30-10 (N, P₂O₅ e K₂O) no plantio, mais 38 kg por hectare de N em cobertura, aplicada em duas doses, aos 30 e 45 dias; em virtude da presença de sintomas generalizados de deficiência, houve necessidade de aplicação foliar de zinco e fósforo.

3.5 SEGUNDO ANO DE CULTIVO

No segundo ano, utilizaram-se as mesmas culturas: no inverno (*Avena sativa* L.) e no verão (*Zea mays* L.), em sistema de plantio direto. Para o preparo da área houve certa facilidade, pela melhor homogeneidade, limpeza e nivelamento do campo experimental.

No dia 07 de novembro de 1994, foi feita a rolagem da aveia com rolo-faca; no dia seguinte aplicou-se o herbicida "Glyphosate" na dose de 5 litros por hectare.

No dia 11 de novembro, foi feito o plantio do milho, utilizando-se os dois cultivares, divididas as parcelas em duas subparcelas de tamanho igual. Devido ao baixo poder germinativo, foram semeadas de 8 a 10 sementes por metro linear do cultivar Cargill 525M, considerado tolerante ao alumínio tóxico, e de 15 a 18 sementes do cultivar HS 701B, considerado sensível. Após o desbaste para ajuste da população, permaneceram de 5 a 6 plantas por metro. O espaçamento entre linhas foi de 1 metro, a adubação de 300 kg por hectare na formulação 10-30-10 (N, P₂O₅ e K₂O), mais adubação nitrogenada de 27 kg de N por hectare em cobertura, parcelada em duas doses, aos 45 e aos 75 dias após o plantio.

No dia 18 de novembro, já havia ocorrido a germinação das sementes e as plântulas se apresentavam muito homogêneas e sem sintomas de deficiência. No dia 25, observaram-se em algumas plantas sintomas de deficiência, como coloração vermelho-arroxeadada no ápice das folhas e estrias longitudinais amareladas. Tais sintomas não se agravaram com o crescimento das plantas e, conseqüentemente, não causaram maiores preocupações.

3.6 AMOSTRAGEM DE SOLO

A primeira amostragem de solo foi realizada antes do início do experimento, ainda como critério para a identificação e escolha do local. O resultado foi descrito anteriormente na tabela 2, que definiu a área escolhida para implantação dos tratamentos.

As demais coletas de solo foram realizadas em diferentes pontos do experimento, conforme a disposição dos blocos e dos tratamentos. A primeira foi realizada após a colheita da primeira safra (21/06/94), retirando-se as amostras nas profundidades em centímetros de 0-15, 15-30 e 30-50, sendo cada amostra composta formada por 3 amostras simples, coletadas aleatoriamente em cada subparcela, individualmente para cada cultivar, com auxílio de trado holandês. A segunda coleta foi realizada após a colheita da segunda safra (17/04/95), procedendo-se da mesma forma que na primeira.

Após serem coletadas, as amostras foram levadas ao laboratório para destorroamento, homogeneização e secagem em estufa, em temperatura próxima de 60°C, até permanecerem com peso constante. Em seguida foram moídas, peneiradas (malha da peneira - 2mm) e encaminhadas para análise.

3.7 AMOSTRAGEM DE PLANTA

A coleta dos dados relativos a este trabalho foi realizada no decorrer do segundo ano de cultivo, na época de pleno florescimento: dia 06 de fevereiro para o cultivar C525, e dia 13 do mesmo mês para o cultivar HS701B. Foram

coletados dentro da área útil de cada subparcela, dois tipos diferentes de materiais vegetais para análise.

3.7.1 Amostra foliar representativa do estado nutricional - FOLHAS ÍNDICES:

vinte folhas representativas do estado nutricional em cada subparcela, correspondente à 1^a folha abaixo da espiga e a ela oposta (MALAVOLTA, 1981). A coleta dessas folhas foi aleatória, dentro de cada subparcela. Após serem levadas ao laboratório, com auxílio de régua e tesoura procedeu-se a seleção do terço médio de cada folha, que foi selecionado para análise, eliminando-se os terços extremos.

3.7.2 Amostra foliar quanto à posição: LÂMINA FOLIAR

três plantas médias inteiras em cada subparcela, cortadas logo abaixo do primeiro nó visível acima do solo. Essas plantas foram escolhidas de acordo com a representatividade das subparcelas a que pertenciam. Em laboratório, coletaram-se todas as lâminas foliares, cortando as folhas rente ao colmo. Além disso, dividiram-se as folhas de acordo com a sua posição na planta, agrupadas em terço inferior, médio e superior, para representar três categorias de idade: folhas mais velhas, folhas intermediárias e folhas mais novas, respectivamente.

POSIÇÃO DAS FOLHAS

S = superior (folhas mais novas).
M = média (folhas intermediárias).
I = inferior (folhas mais velhas).

Todo o material colhido foi lavado: uma vez com água de torneira, duas vezes com água desionizada e deixado durante 2 dias para secar na temperatura ambiente, espalhado em sala fechada com as mesas forradas de papel. Em seguida foi colocado em sacos devidamente identificados e levados à estufa na temperatura de 60°C, até permanecer com peso constante. Depois, foi moído e submetido à análise.

3.8 ANÁLISE DE SOLO

Os resultados da análise de solo têm por objetivo facilitar a discussão, sendo analisados juntamente com os parâmetros nutricionais.

3.8.1 ANÁLISES QUÍMICAS

Realizadas conforme a rotina do Laboratório de Solos do Setor de Ciências Agrárias da UFPR, seguindo basicamente a metodologia descrita em EMBRAPA (1979), porém com algumas adaptações.

3.8.1.1 pH CaCl₂

Determinado em solução de CaCl₂ 0,01M, relação 1:2,5 (10cm³ de solo menor que 2mm + 25 ml de CaCl₂) em potenciômetro. As suspensões foram agitadas mecanicamente, permaneceram em repouso por 1 hora; foram novamente agitadas antes de mergulhar o eletrodo do potenciômetro.

3.8.1.2 H + Al

Utilizou-se solução tampão SMP, introduzida por SHOEMAKER *et al.* (1961). Determinou-se inicialmente o pH, em seguida adicionaram-se 5 ml da solução tampão SMP e agitou-se mecanicamente. A solução permaneceu em repouso até o dia seguinte, quando se procedeu às leituras potenciométricas, realizadas trinta minutos após nova agitação.

3.8.1.3 Ca, Mg e Al trocáveis

Extraídos por solução KCl 1N com relação 1:1. Foram agitados por 5 minutos em agitador horizontal, e deixaram-se em repouso por uma noite, para então retirar as alíquotas individuais de 25 ml.

O conjunto de cálcio e magnésio e o cálcio sozinho foram obtidos por complexometria, titulando-se com EDTA 0,0125M; utilizou-se o negro de eriocromo como indicador para o conjunto de Ca e Mg, e o calgon para o Ca.

O Al foi determinado por titulação com NaOH 0,025N; utilizou-se como indicador o Azul de Bromotimol 0,1%.

3.8.1.4 K trocável e P solúvel

Extração mediante solução de Mehlich 1 (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) com relação 1:10; utilizou-se o fotômetro de chama para determinação do K e o método colorimétrico, com emprego de molibdato de amônio; tomou-se como

reduzido o ácido ascórbico, para a determinação de P. Para a leitura do P, utilizou-se a medição da densidade ótica, mediante espectrofotômetro com filtro vermelho, comprimento de onda 660 nm, após a calibração pela prova em filtro branco.

3.8.1.5 Carbono

Determinado mediante o método colorimétrico pela oxidação com dicromato de sódio, cuja leitura se realizou com o auxílio do espectrofotômetro, com comprimento de onda de 650 nm.

3.8.1.6 T, CTC, V%, m% e Mg trocável

Respectivamente: soma de bases, capacidade de troca de cationes, saturação de bases, saturação de alumínio e magnésio trocável foram calculados conforme a metodologia proposta pela EMBRAPA (1979).

3.8.2 ANÁLISES FÍSICAS

As análises físicas para determinação da granulometria do solo foram feitas conforme a rotina do Laboratório de física do solo do Setor de Ciências Agrárias da UFPR, com metodologia proposta pela EMBRAPA (1979). A determinação foi realizada por tamisação e sedimentação, utilizando-se como agente químico dispersante a solução de pirofosfato de sódio (44g. dm⁻³ de

água), com agitação de 15 minutos em alta rotação. A argila foi determinada pelo método densimétrico.

3.9 ANÁLISE FOLIAR

Para a análise química do tecido das folhas utilizou-se a metodologia descrita por HILDEBRAND (1977). Para a determinação de todos os elementos, com exceção do nitrogênio, realizaram-se duas incinerações por período de 3 horas cada, em temperatura de 500°C: a primeira é uma digestão via seca; a segunda, com a adição de 5 gotas de HCl 10%. Em seguida realizou-se a solubilização do material (cinzas) em HCl 10%, filtragem para balões volumétricos e determinação dos seguintes elementos:

3.9.1 P

Por meio de colorimetria com molibdato-vanadato de amônio (cor amarela); espectro 463 nm, colorímetro Zeiss, PL-4.

3.9.2 K

Pela fotometria de emissão; comprimento de onda 766,5 nm.

3.9.3 Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e Al

Espectofotometria de absorção atômica; porém para o Ca e Mg houve adição de cloreto de estrôncio, antes da leitura; para o alumínio, utilizou-se óxido nitroso na absorção atômica.

3.9.4 N

De maneira diferenciada dos demais elementos, o N não sofreu incineração, sendo determinado pelo método de Kjeldahl, em digestão sulfúrica com titulação com NaOH 0,02N, conforme descrito por HILDEBRAND (1977).

3.10 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS PLANTAS E OUTRAS AVALIAÇÕES

3.10.1 Altura da planta

Utilizaram-se 10 plantas da área útil de cada subparcela, medidas em campo, do solo ao pendão, com auxílio de régua topográfica. Escolheram-se 5 plantas em linha, em local aleatório num sentido, e 5 plantas na linha ao lado, no sentido oposto.

3.10.2 Altura da inserção da primeira espiga

Determinada em campo, nas mesmas plantas da avaliação anterior (3.10.1), medidas do solo até a base da espiga.

3.10.3 Diâmetro de colmo

Com auxílio de paquímetro, avaliou-se em campo, nas mesmas plantas das avaliações anteriores (3.10.1 e 3.10.2), no primeiro entre-nó acima do primeiro nó visível.

3.10.4 Massa seca foliar

Determinada a partir das lâminas foliares das 3 plantas coletadas inteiras, que foram colocadas em estufa em temperatura de 60°C até atingirem peso constante, conforme descrição anterior (3.7.2).

3.10.5 Rendimento de grãos

O rendimento foi avaliado na colheita manual realizada em 28 de abril de 1995, numa área de 4 linhas por 5 metros contínuos (20m²), localizada aleatoriamente dentro da área útil de cada subparcela, respeitando-se a bordadura. Em debulhador estacionário foi feita a debulha; em seguida o material

foi pesado e teve a sua umidade determinada e homogeneizada em 13%, para cálculo de rendimento de grãos.

3.10.6 Número de plantas

Avaliado mediante a contagem do número de plantas dentro da área útil de cada subparcela, convertendo-se para o número de plantas por hectare,

3.10.7 Qualidade de grãos

Para a avaliação da qualidade de grãos formaram-se oito amostras compostas, uma de cada tratamento. Cada amostra representava um dos quatro níveis de calagem e um dos dois cultivares. As avaliações realizaram-se no laboratório de Nutrição Animal e Agrostologia do SCA da UFPR e no laboratório de Classificação Técnica da Empresa Paranaense de Classificação de Produtos, atualmente vinculada a CODAPAR, com as metodologias próprias de cada laboratório.

3.10.8 Extração de nutrientes

A quantidade em quilogramas por hectare de cada nutriente estimada nas folhas das plantas de milho foi calculada mediante a multiplicação da concentração do elemento na folha pelo peso seco total em hectares que esta representava. Assim, somando-se a quantidade de cada nutriente em cada uma

das lâminas foliares dos 3 tipos de folha (superior, média e inferior) obtém-se o total do nutriente via foliar por hectare. O cálculo foi feito separadamente para cada cultivar; os resultados são apresentados em anexo (2 e 3).

3.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram avaliados estatisticamente, com a separação do experimento em duas partes, como dois diferentes experimentos, uma vez que se procedeu à coleta de diferentes materiais, com diferentes objetivos. Na primeira parte, utilizando-se os dados relativos às análises químicas das *folhas índices*, aos parâmetros morfológicos e à produção, avaliou-se o efeito dos níveis de calagem, dos cultivares e da interação de ambos. Na segunda parte, separadamente para os cultivares, com os dados relativos às análises químicas das *lâminas foliares* das folhas superiores, médias e inferiores, avaliaram-se os níveis de calagem, a idade da folha e a interação de ambos.

Como avaliação complementar, realizou-se uma análise de correlação entre todas as *variáveis respostas* avaliadas na primeira etapa, formando a matriz de correlação (Anexo 1), que apresenta o nível de relação existente entre os parâmetros avaliados: concentração de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn e Al nas *folhas índices*, altura da planta, diâmetro do colmo, massa seca foliar e produção de grãos. Cada um dos parâmetros foi relacionado com todos os demais.

3.11.1 METODOLOGIA

Utilizou-se o delineamento em faixas, o qual pressupõe homogeneidade de variâncias, normalidade e independência dos resíduos. Nesse experimento os tratamentos não são distribuídos inteiramente ao acaso nas subparcelas; pelo contrário, são dispostos de maneira que formem faixas. Esses experimentos devem ser evitados sempre que possível; porém, para viabilizar a semeadura com máquina, as subparcelas não foram aleatorizadas. Na segunda parte do experimento descrito anteriormente, por motivos óbvios, seria inviável aleatorizar a idade das folhas.

Realizou-se o teste ANOVA para verificar se houve diferenças significativas entre as variâncias dos parâmetros estudados. Em caso de resultado significativo, realizou-se, quando necessário, uma regressão polinômica para observar o comportamento.

3.11.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

(1) Se referem a análise das *folhas índices*.

(2) Se referem a análise das *lâminas foliares*.

As variáveis analisadas foram:

- Nível de Calagem (1) e (2);
- Cultivar (1);
- Idade da folha (2);

As variáveis respostas são:

- Mg - Ca - K - P - N - (g.kg^{-1}) (1) e (2);
- Fe - Mn - Cu - Zn - Al - (mg.kg^{-1}) (1) e (2).
- Diâmetro de colmo (cm) (1).
- Altura da planta (m) (1).
- Produção (kg.ha^{-1}) (1).
- Massa foliar (g.3 plantas^{-1}) (1).

3.11.3 HIPÓTESES DE PESQUISA

Teste das médias (ANOVA)

- Fatores

H0: Não existem diferenças entre as médias dos cultivares.

HA: Existe diferença entre as médias dos cultivares.

H0: Não existe diferença entre as médias dos níveis de calagem.

HA: Pelo menos um nível difere.

H0: Não existe diferença entre as médias das folhas inferiores, intermediárias e superiores.

HA: Pelo menos uma posição difere.

- Interação

H0: O efeito de um fator independe do efeito de outro fator.

HA: O efeito de um fator depende do efeito de outro fator.

- Homogeneidade de variância

H0: Variâncias homogêneas em todos os grupos.

HA: Variância não homogênea .

- Normalidade dos resíduos

H0: Resíduos provenientes de uma população normal.

HA: Resíduos não provenientes de uma população normal.

- Regra de decisão

Rejeita-se H0, para todos os valores de p menores que $\alpha = 0,05$.

Modelo

$$y_{i,j,k} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{i,j} + (\tau\gamma)_{i,k} + (\beta\gamma)_{j,k} + \varepsilon_{i,j,k}$$

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$$j = 1, 2$$

$$k = 1, 2, 3, 4$$

onde:

$y_{i,j,k}$ é a resposta da parcela no i-ésimo bloco no j-ésimo cultivar
para o k-ésimo nível de calagem

μ é média global

τ_i é o efeito do i-ésimo bloco

β_j é o efeito do j-ésimo cultivar

γ_k é o efeito do k-ésimo nível de calagem

$(\tau\beta)_{i,j}$ é o RESIDUO (A)

$(\tau\gamma)_{i,k}$ é o RESIDUO (B)

$(\beta\gamma)_{j,k}$ é o efeito da interação do j-ésimo cultivar com o k-ésimo nível de calagem

$\varepsilon_{i,j,k}$ é o RESIDUO (C)

Regressão Polinômica

Os modelos polinômicos são úteis em situações em que o pesquisador deseja estimar pontos de máximo, utilizando certos níveis escolhidos para determinada variável dentro de uma gama de possíveis valores. É o que acontece com os níveis de calagem, onde foram fixados 4 valores e que, por meio das equações resultantes desta regressão, se podem estimar respostas para qualquer valor desejado.

O valor que cada variável assume pode ser expresso pelo nível utilizado segundo o modelo :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k + \varepsilon.$$

As hipóteses são:

$H_0: \beta_i = 0$

$H_a: \beta_i \neq 0$

sendo que "i" indica o grau do coeficiente do polinômio.

3.11.4 AJUSTES DAS VARIÁVEIS

Nas situações em que houve violação de algum dos pressupostos para a utilização do delineamento em faixas (homogeneidade de variâncias, normalidade ou independência dos resíduos), procedeu-se ao ajuste da variável, adequando-a conforme a necessidade.

Para a análise química das *folhas índices* e para os parâmetros da planta foram avaliados:

- O N, Ca, Mg, K, Mn, Cu, altura de planta, diâmetro de colmo e massa seca foliar não necessitaram de ajustes.

- O P, Fe, Zn e rendimento de grãos apresentaram necessitaram de ajustes.

- A análise para a variável Al (sem transformação) apresentou violação do pressuposto de homogeneidade de variância, mas não foi possível determinar uma transformação adequada; optou-se pela análise sem transformação da variável, recomendando-se cautela ao discutir os resultados obtidos.

Para a análise da concentração de nutrientes nas *lâminas foliares*:

- No cultivar Cargill o P, Ca e Mn não necessitaram de ajustes; para N, K, Mg, Fe, Zn, Cu e Al utilizaram-se variados recursos.

- No cultivar HS o N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu e Mn não necessitaram de ajustes; somente o Fe e Al sofreram transformações para viabilizar a análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No desenvolvimento deste tópico, serão inicialmente apresentados e comentados os resultados provenientes das análises de solo. Tais resultados não representam diretamente os objetivos do trabalho; os valores indicam o comportamento do elemento no solo, assumindo considerável importância como suporte para a discussão de outros parâmetros. Em seguida serão apresentados e discutidos os dados relativos à planta, como os parâmetros morfológicos, os de produção e os teores nutricionais, que foram avaliados estatisticamente (3.11) e analisados mais profundamente, porquanto constituem os objetivos principais deste estudo. Como análise complementar, realizaram-se cálculos para determinar a extração dos nutrientes nos diferentes tratamentos (3.10.8) e o grau de correlação entre as *variáveis respostas* do experimento (3.11).

4.1 RESULTADOS ANALÍTICOS DE SOLO

A tabela 3 apresenta os dados das análises de solo realizadas após a colheita da primeira safra. A tabela 4 corresponde à análise das amostras coletadas no final do experimento, ou seja, após a colheita da segunda safra, quase dois anos depois da realização da calagem.

Em ambas as tabelas, os valores correspondem às médias dos 4 blocos; estão divididos em três profundidades, em dois cultivares de milho utilizados e nos quatro níveis de calagem. Analisando estes resultados, é possível prever o comportamento dos nutrientes com relação à sua absorção, porém muitas vezes

há predominância de outros fatores, e a concentração do elemento na planta acaba não se relacionando com a sua disponibilidade no solo.

TABELA 3: TEORES DE DIVERSOS ELEMENTOS NO SOLO CONFORME DOSES DE CALCÁRIO APLICADAS E CULTIVARES UTILIZADOS (21/06/94)

Elementos *(unidades)	Profundidade (cm)	CULTIVARES							
		HS				Cargill			
		CaCO ₃ (t/ha)				CaCO ₃ (t/ha)			
		0,0	3,5	7,0	10,5	0,0	3,5	7,0	10,5
C (%)	0-15	4.5	4.8	5.0	4.8	4.5	5.2	5.2	4.7
	15-30	3.4	3.6	3.7	3.6	3.8	3.7	3.8	3.6
	30-50	1.8	2.1	2.2	2.1	2.0	1.9	2.1	2.1
P (mg.Kg ⁻¹)	0-15	3.8	3.0	3.8	3.0	4.0	3.8	3.3	3.3
	15-30	2.0	1.8	1.8	1.8	2.5	2.3	2.3	2.3
	30-50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
K (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	0.19	0.18	0.21	0.17	0.20	0.19	0.16	0.16
	15-30	0.16	0.12	0.15	0.12	0.15	0.13	0.15	0.13
	30-50	0.06	0.06	0.08	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	0.9	2.7	4.1	5.4	1.1	2.7	5.1	6.1
	15-30	0.8	1.2	1.5	1.8	0.9	1.3	1.8	1.7
	30-50	0.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	1.2	4.9	5.5	8.6	1.5	4.3	6.1	8.1
	15-30	0.7	1.5	1.8	1.7	1.2	1.3	2.1	2.5
	30-50	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.7
H + Al (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	14.8	11.2	10.1	7.2	14.1	12.2	8.9	6.6
	15-30	14.8	12.8	12.1	11.5	13.6	13.1	11.5	11.3
	30-50	14.0	13.3	03.1	12.6	12.6	13.0	14.9	12.3
Al (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	5.3	2.3	4.2	0.3	5.1	2.3	0.5	0.1
	15-30	5.8	4.8	4.5	4.3	5.4	5.3	3.8	4.0
	30-50	6.0	5.4	5.5	5.8	5.2	2.8	3.8	5.4
Mn (mg.Kg ⁻¹)	0-15	22	35	28	24	38	44	42	44
	15-30	13	14	10	8	15	11	14	16
	30-50	3	4	3	3	2	3	4	4
Fe (mg.Kg ⁻¹)	0-15	167	113	110	76	173	156	118	103
	15-30	123	118	119	109	148	148	173	139
	30-50	82	99	96	95	112	128	123	116
Zn (mg.Kg ⁻¹)	0-15	0.9	1.2	0.8	0.8	1.2	1.4	1.3	1.1
	15-30	0.7	0.6	0.5	0.3	0.7	0.7	0.8	0.7
	30-50	0.4	0.4	0.3	0.2	0.5	0.6	0.7	0.5
Cu (mg.Kg ⁻¹)	0-15	2.2	2.0	2.2	1.8	2.4	2.3	2.1	1.9
	15-30	2.2	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3
	30-50	1.8	2.2	2.2	1.9	2.0	2.1	2.2	1.9
pH (pH CaCl ₂)	0-15	3.9	4.4	4.6	5.2	3.9	4.4	4.9	5.3
	15-30	4.0	4.1	4.1	4.2	3.9	4.0	4.2	5.2
	30-50	4.1	4.1	4.0	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0

TABELA 4: TEORES DE DIVERSOS ELEMENTOS NO SOLO CONFORME DOSES DE CALCÁRIO APLICADAS E CULTIVARES UTILIZADOS (17/04/95)

Elementos *(unidades)	Profundidade (cm)	CULTIVARES							
		HS				Cargill			
		CaCO ₃ (t/ha)				CaCO ₃ (t/ha)			
		0,0	3,5	7,0	10,5	0,0	3,5	7,0	10,5
C (%)	0-15	4.7	4.9	4.5	4.8	5.1	5.4	5.2	4.8
	15-30	4.3	4.1	4.0	4.1	4.0	4.6	4.1	4.2
	30-50	2.2	2.1	2.0	2.2	1.9	2.4	2.2	2.3
P (mg.Kg ⁻¹)	0-15	2.5	2.0	1.5	2.3	3.0	3.0	2.3	3.0
	15-30	1.3	1.3	1.3	1.3	2.3	1.8	1.5	2.0
	30-50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
K (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	0.20	0.19	0.21	0.17	0.22	0.18	0.19	0.17
	15-30	0.17	0.13	0.15	0.12	0.18	0.15	0.15	0.13
	30-50	0.07	0.06	0.07	0.06	0.90	0.70	0.70	0.70
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	2.1	7.2	10.8	14.0	1.9	8.5	10.9	14.0
	15-30	1.9	5.3	7.0	9.3	1.8	5.9	6.7	8.0
	30-50	1.0	1.4	1.3	1.7	0.8	2.0	1.1	1.4
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	1.2	4.7	6.4	7.9	1.1	5.7	6.3	7.5
	15-30	1.2	3.3	3.9	5.4	1.0	3.9	3.4	4.6
	30-50	0.6	0.7	0.7	1.0	0.5	1.3	0.6	0.8
H + Al (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	18.2	12.1	8.4	7.2	18.2	12.9	9.3	7.2
	15-30	15.5	12.1	11.1	9.3	15.0	15.0	11.1	10.5
	30-50	14.4	13.4	13.6	13.7	15.2	14.4	13.6	13.6
Al (cmol _c .dm ⁻³)	0-15	4.8	1.6	0.5	0.0	5.2	1.6	0.5	0.2
	15-30	4.5	2.8	2.1	1.1	4.9	2.8	2.1	1.6
	30-50	4.7	4.6	4.1	2.6	4.9	4.3	4.3	4.3
Mn (mg.Kg ⁻¹)	0-15	28	24	15	21	26	31	15	24
	15-30	19	14	13	16	24	21	9.3	11.8
	30-50	3.6	3.7	8.6	4.2	20.1	8.6	1.6	2.4
Fe (mg.Kg ⁻¹)	0-15	106	61	62	48	106	61	63	48
	15-30	95	73	69	63	95	73	69	48
	30-50	82	65	70	63	82	65	70	63
Zn (mg.Kg ⁻¹)	0-15	1.7	1.2	1.3	1.6	1.8	1.4	1.3	1.7
	15-30	1.1	1.0	0.9	1.1	1.2	1.1	1.0	1.1
	30-50	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5
Cu (mg.Kg ⁻¹)	0-15	2.3	2.1	2.0	1.8	2.5	2.0	2.1	1.8
	15-30	2.2	2.0	2.1	1.9	2.3	1.9	2.1	1.9
	30-50	1.9	2.0	1.8	1.8	0.8	2.0	1.9	1.8
pH (pH CaCl ₂)	0-15	4.0	4.5	5.0	5.3	4.1	4.7	5.0	5.2
	15-30	4.1	4.5	4.6	4.9	4.0	4.4	4.5	4.7
	30-50	4.2	4.2	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.3

Em virtude da necessidade de vincular o comportamento dos nutrientes nas folhas com os resultados das tabelas anteriores (Tabelas 3 e 4), a discussão das tendências de variação na disponibilidade dos elementos no solo com a

calagem será apresentada no tópico (4.2.4), juntamente com a avaliação dos resultados relativos à concentração nutricional na planta.

4.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DA PLANTA

Os parâmetros relativos à planta foram avaliados em duas análises diferentes, conforme a descrição anterior (3.11). As análises determinaram duas etapas de avaliação dos resultados: A primeira avaliou a interferência das doses de calcário aplicadas, dos cultivares utilizados e da interação dos dois fatores sobre a composição nutricional das *folhas índices* (3.7.1) e sobre alguns parâmetros da planta (3.10). A segunda análise avaliou separadamente para os dois cultivares a interferência das doses de calcário aplicadas, da posição da folha na planta e da interação dos dois fatores sobre a composição nutricional das *lâminas foliares* (3.7.2). O fato de a avaliação estatística dos resultados ter sido realizada em duas etapas não indica que a discussão e apresentação dos dados se farão da mesma forma. Com o objetivo de esclarecer melhor os comportamentos observados no presente trabalho, os resultados serão apresentados em quatro tópicos:

4.2.1 - Parâmetros morfológicos e de rendimento conforme o cultivar.

4.2.2 - Parâmetros morfológicos e de rendimento conforme os níveis de calagem.

4.2.3 - Avaliação nutricional das *folhas índices* conforme o cultivar.

4.2.4 - Avaliação nutricional das *lâminas foliares* conforme os níveis de calagem e a posição da folha na planta.

Como não foi observada interação dos níveis de calagem sobre os cultivares na primeira etapa de avaliação, foi possível dividir a discussão nos tópicos 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, que comentam grande parte dos resultados da primeira etapa de avaliação.

O tópico 4.2.4 é o mais complexo, trata da composição mineral das folhas e apresenta inicialmente a interferência da calagem na concentração das *folhas índices*. Em seguida discute todos os resultados da segunda etapa de avaliação, ou seja, individualmente para os cultivares o efeito da calagem e da posição da folha na concentração das *lâminas foliares* da planta. Além disso, para complementar a discussão, são comentados, no tópico 4.2.4, os dados relativos às análises de solo das tabelas 3 e 4, dados sobre a extração de nutrientes (Anexos 2 e 3) e resultados da análise de correlação realizada entre as *variáveis respostas* do experimento (Anexo 1). É importante enfatizar que a análise de correlação é somente complementar, não sendo possível atribuir determinados efeitos em função dos seus resultados. Na discussão do comportamento de cada elemento, consideram-se apenas valores que determinavam a existência de mais de 40% de correlação entre os parâmetros, isto é, a relação positiva ou negativa.

A discussão dos parâmetros relativos à planta não inclui os resultados da altura da inserção da espiga (3.10.2) e do número de plantas por hectare (3.10.6); esses foram determinados, porém com outros objetivos. O número de plantas por hectare foi utilizado para verificar se havia a necessidade de correção nos valores dos resultados de outros parâmetros avaliados que são influenciados por este fator; isto deveria ocorrer, se o número de plantas estivesse muito heterogêneo entre os tratamentos. A altura de inserção da espiga não foi avaliada estatisticamente, porquanto apresentou o mesmo comportamento da

altura da planta. Conforme informações de outros trabalhos realizados com plantas de milho, os dois parâmetros respondem da mesma maneira, tornando-se neste caso mais interessante a exploração de outros parâmetros que, possivelmente, teriam resultados menos previsíveis.

4.2.1 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E DE RENDIMENTO CONFORME O CULTIVAR

Entre os parâmetros morfológicos avaliados, apenas a altura da planta apresentou resultado significativo, quando comparados os dois cultivares (Anexo 4); o cultivar HS teve tamanho 11,3% superior ao Cargill. Tal característica provavelmente está mais relacionada com o potencial genético do material utilizado; possivelmente não é consequência de alguma interferência nutricional, e não pode justificar uma maior ou menor produtividade (IAPAR, 1991).

O diâmetro de colmo, a massa seca foliar e a produção de grãos não apresentaram variações estatisticamente significativas entre os cultivares (Anexos 2, 3 e 4), embora o Cargill apresentasse superioridade nos resultados médios de 3,6% para o diâmetro de colmo, 4,5% para a produção de massa seca foliar e 15,3% para produção de grãos em relação ao cultivar HS.

No trabalho desenvolvido por PAULETTI (1995) foram evidenciadas as mesmas tendências, porém se comprovaram estatisticamente as diferenças nos parâmetros avaliados entre os dois cultivares.

4.2.2 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E DE RENDIMENTO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM

Neste tópico serão discutidos os efeitos das doses crescentes de calcário em diversos parâmetros da planta; cumpre lembrar que, como não foi observado efeito significativo da interação das doses crescentes de calcário sobre os cultivares acerca das características da planta, que serão discutidas a seguir, os resultados e os gráficos se referem ao comportamento médio dos dois cultivares. Da mesma forma, a diferença no comportamento dos parâmetros avaliados em função dos cultivares, discutida no tópico anterior (4.2.1), se refere à média dos quatro níveis de calagem.

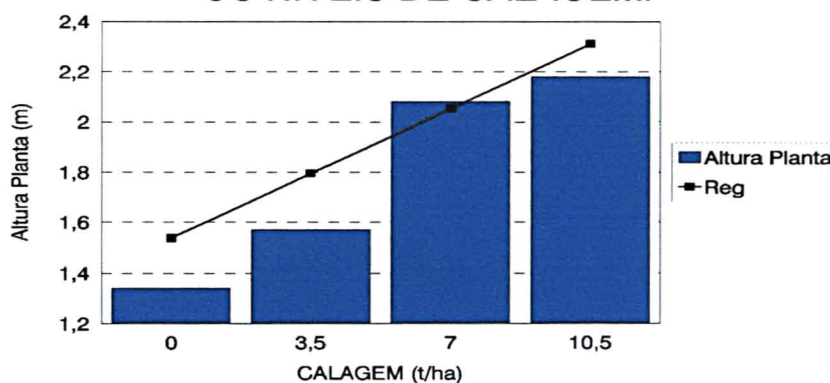
4.2.2.1 ALTURA DAS PLANTAS

A altura das plantas de milho apresentou variação estatística altamente significativa para as doses de calcário (Figura 2 e Anexo 4), resultado não significativo tanto para ASSMANN (1995) quanto para PAULETTI (1995), em que a calagem apenas indicou tendência de aumento na altura das plantas.

O aumento do tamanho das plantas de milho com a calagem corresponde à melhoria das condições de solo, efeito também observado por FORESTIERI e DE POLLI (1990), em cujo experimento a calagem proporcionou maior desenvolvimento das plantas de milho. O comportamento também pode ser justificado pela interferência da acidez no desenvolvimento de outras partes do vegetal, como por exemplo o sistema radicular, que é diretamente influenciado

pela presença do Al. Tanto BENNET e BREEN (1991) como COMIN (1996) relataram os efeitos negativos da reação do alumínio nas raízes de milho. ROSOLEM *et al.* (1994) observaram um melhor desenvolvimento radicular de plantas de milho atribuído à calagem. De modo geral, podemos concluir que a adição de calcário melhora as condições de solo (Tabelas 3 e 4), promovendo maior desenvolvimento da planta.

FIGURA 2. ALTURA DAS PLANTAS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



$$\hat{y} = 1,53625 + 0,258125x$$

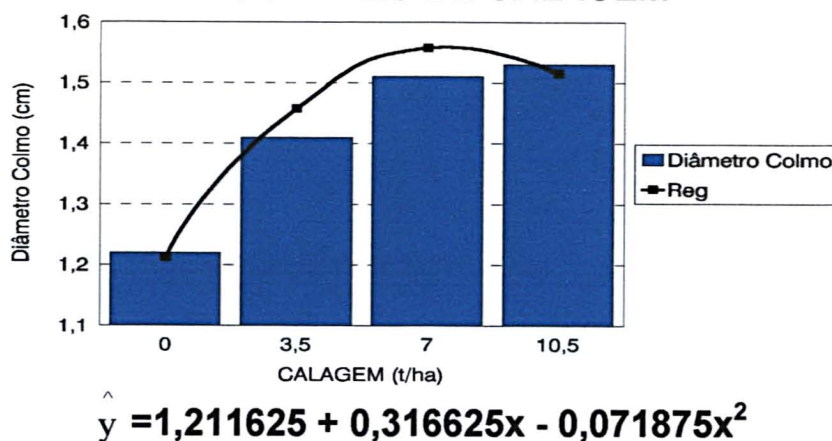
Além dos resultados observados no delineamento estatístico, verificou-se que a altura das plantas apresenta correlação negativa com o teor de Mn na planta e correlação positiva com o rendimento de grãos, com o diâmetro do colmo, com a massa seca foliar e com o teor de Mg na planta. (Anexo 1).

4.2.2.2 DIÂMETRO DO COLMO

O diâmetro do colmo das plantas de milho apresentou variação estatística altamente significativa para as doses de calcário, com aumentos dos seus valores por causa da calagem (Figura 3 e Anexo 5). A mesma tendência foi observada por ASSMANN (1995) e, possivelmente, está relacionada com o maior desenvolvimento da planta, também observado por FORESTIERI e DE POLLI (1990).

A justificativa sugerida por MARSCHNER (1985) relaciona o aumento do diâmetro de colmo à diminuição dos entrenós, provocada por presumível deficiência de zinco, consequência de calagem excessiva. A hipótese anterior, porém, não se enquadra nesta situação, porquanto a planta apresentou maior crescimento em altura, e os teores de zinco no solo não variaram de forma significativa (Tabelas 3 e 4), além de que a dose máxima de calcário aplicada não correspondia a valores acima do adequado, não oferecendo prejuízo na disponibilidade do micronutriente. Os resultados relativos ao diâmetro do colmo apresentaram correlação positiva com o rendimento de grãos, com a altura de plantas, com a massa seca foliar e com os teores de P, Mg, N e Zn nas plantas. (Anexo 1).

FIGURA 3. DIÂMETRO DO COLMO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM

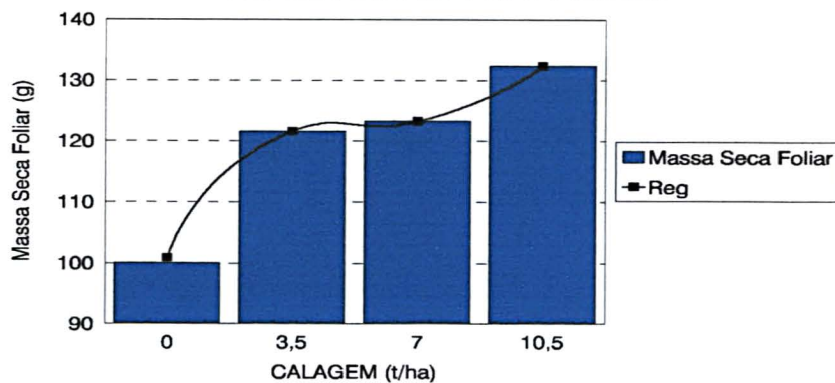


4.2.2.3 MASSA FOLIAR SECA

A massa correspondendo ao somatório da massa foliar de 3 plantas de milho (3.10.4); apresentou variação estatística altamente significativa para as doses de calcário aplicadas (Anexo 6), aumentando o seu peso com o aumento de pH (Figura 4), comportamento igualmente observado tanto por QUAGGIO *et al.* (1985), quanto por ASSMANN (1995), como por MELO *et al.* (1994) e por PAULETTI (1995). A adição de calcário tende a promover melhoria no sistema radicular, permitindo à planta obter maior desenvolvimento. Além disso, CAMBRAIA *et al.* (1983b) comentam que a presença de alumínio na planta prejudica a reação de fotossíntese, com interferência direta no desenvolvimento da planta.

Observando os resultados da análise de correlação (Anexo 1), evidenciam-se as relações positivas entre a massa seca foliar e o rendimento de grãos, diâmetro do colmo, altura de plantas e os teores de P e Mg, além da correlação negativa com Mn e Al.

FIGURA 4. MASSA SECA FOLIAR CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM



$$\hat{y} = 100,875 + 39,1875x - 22,875x^2 + 4,4375x^3$$

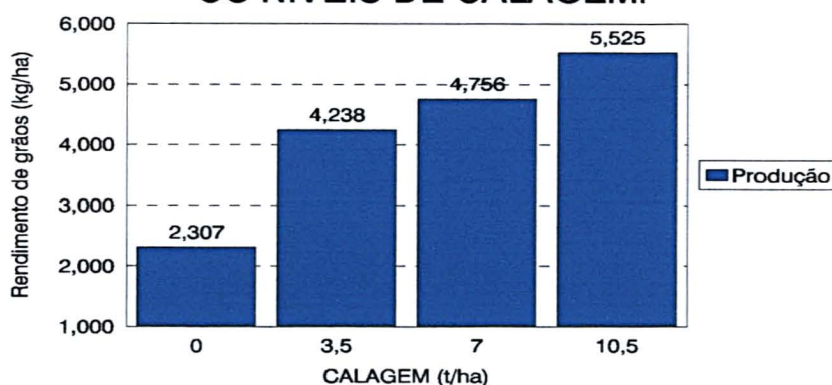
A interpretação dos resultados de produção de massa foliar seca assume grande importância para o trabalho, porquanto se pode estimar, por meio desses dados, a extração de nutrientes do solo em cada tratamento. Muitas vezes a concentração de determinado elemento varia conforme o maior ou o menor volume da amostra original. No presente trabalho, os teores de alguns nutrientes foram semelhantes nos diferentes tratamentos, porque as suas diferenças ficaram ocultas pela diluição, consequência do maior desenvolvimento do vegetal, confirmado neste tópico.

Com o objetivo de confirmar estas tendências, calculou-se a partir do peso das amostras originais a quantidade de cada nutriente nas folhas de milho (3.10.8). Mediante essas determinações, confirmaram-se novamente às diferenças entre a concentração e a quantidade de nutrientes absorvida, evidenciadas também por KARLEN *et al.* (1988), que da mesma forma trabalharam com plantas de milho, correlacionando o acúmulo de matéria seca com a absorção de nutrientes.

4.2.2.4 RENDIMENTO DE GRÃOS

O rendimento de grãos não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos (Anexo 7), apesar de apresentar forte tendência de aumento com a calagem (Figura 5a). Nos trabalhos desenvolvidos tanto por SMITH *et al.* (1986), quanto por SHASHUDDIN *et al.* (1991) e PAULETTI (1995), a mesma tendência foi observada, porém houve comprovação estatística do acréscimo na produtividade.

FIGURA 5a. RENDIMENTO DE GRÃOS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.

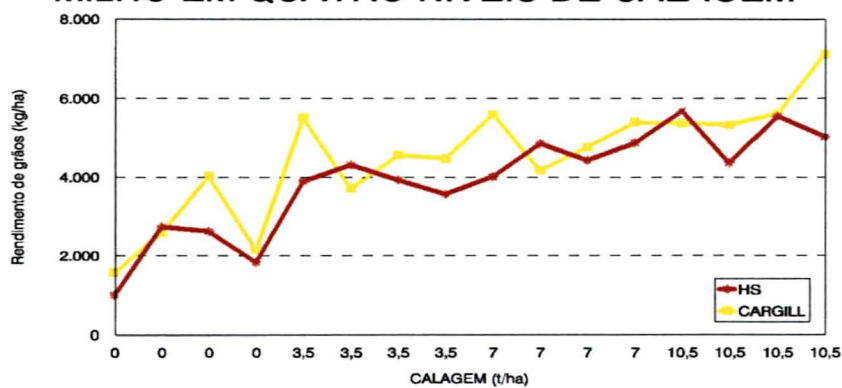


No desenvolvimento da discussão dos resultados, inicialmente suspeitou-se de que, em se tratando do segundo ano de cultivo da área, as diferenças entre os tratamentos seriam menos evidentes, porém como foram observadas alterações significativas no comportamento de outros parâmetros avaliados, tal hipótese acabou sendo desconsiderada.

Visando a esclarecer o assunto, promoveu-se estudo mais aprofundado deste parâmetro, justificado também pela sua importância. Mediante comparação direta dos resultados em cada parcela, atribuiu-se a não significativa diferença estatística entre os níveis de calagem à grande desuniformidade dos resultados

(Figura 5b), que ocorreu até mesmo entre tratamentos iguais (blocos diferentes) e promoveu coeficiente de variação muito elevado. Tal comportamento também foi observado na análise de outros parâmetros, que interferiram na análise estatística dos resultados, porquanto gera como consequência alto intervalo de confiança.

FIGURA 5b. RENDIMENTO DE GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO EM QUATRO NÍVEIS DE CALAGEM



Os resultados da correlação entre a produção e as demais *variáveis respostas* foram positivos em relação aos teores foliares de P, de Mg, e N, aos parâmetros morfológicos e à massa seca foliar, e negativos em relação aos teores de Mn e Al (Anexo 1).

4.2.2.5 QUALIDADE DE GRÃOS

A tabela a seguir (Tabela 5) permite fazer comparação entre a classificação dos grãos de milho dos diferentes tratamentos. Neste caso, os

valores não correspondem em cada tratamento à média dos quatro blocos, mas ao resultado analítico das amostras compostas. Separadamente entre os cultivares, cada um dos quatro blocos contribuiu para a formação de uma amostra composta para cada nível de calagem.

Como se pode observar, há pouca alteração na qualidade dos grãos em função da melhoria das condições de solo, proporcionada pela a adição de calcário nos tratamentos.

TABELA 5: PORCENTAGEM (%) DOS PARÂMETROS AVALIADOS NOS GRÃOS DE DOIS CULTIVARES DE MILHO EM QUATRO NÍVEIS DE CALAGEM

Cultivares	Cargill				HS				
	Calagem (t/ha)	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
Cálcio	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Fósforo	0,23	0,22	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21	0,20	0,20
Proteína Bruta	9,0	8,8	9,9	9,3	8,4	8,7	9,2	9,3	9,3
Extrato etéreo	5,27	4,20	3,76	3,85	4,82	5,62	4,40	4,42	4,42
Resíduo Mineral	1,13	1,00	0,97	0,97	1,10	0,99	1,09	1,05	1,05
Grãos Avariados	31,6	29,4	26,32	25,2	12,6	21,1	15,0	12,1	12,1

Entre os parâmetros avaliados, observa-se que os teores de proteína bruta apresentaram tendência de aumento com a calagem: o número de grãos avariados apresentou tendência de diminuir com a aplicação de calcário, ou seja, houve maior produção relativa de grãos viáveis nos tratamentos com aplicação de calcário. Apesar de que esses comportamentos foram observados, a afirmação de que a calagem promove melhoria em parâmetros de qualidade só

deve ser efetivada quando se desenvolver certo experimento com este propósito, além da necessidade de haver comprovação estatística dos resultados. O objetivo desta avaliação, no presente estudo, foi observar algumas tendências, e somente então recomendar o desenvolvimento de experimento que avaliasse a influência das condições de solo na qualidade do produto final, os grãos.

4.2.3 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DAS FOLHAS CONFORME O CULTIVAR

Analisados na primeira etapa de avaliação, os teores nas *folhas índices* dos 10 nutrientes determinados não apresentaram diferenças estatísticas entre as médias dos dois cultivares; para a maioria dos nutrientes, o cultivar tolerante apresentou maiores concentrações. Na tabela 6 é possível comparar alguns resultados médios.

TABELA 6: CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES NAS FOLHAS ÍNDICES EM DOIS CULTIVARES DE MILHO

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Al
Unidade	g.kg ⁽⁻¹⁾					mg.kg ⁽⁻¹⁾				
CARGILL	23.5	1.7	17	4.6	2.7	150	15.0	9.1	40	23
HS	21.5	1.5	15	4.2	2.6	100	17.5	9.6	38	17

*Os números em negrito são para destacar o maior valor.

Mediante a análise dos valores apresentados na tabela anterior, serão discutidos em seguida as tendência dos nutrientes avaliados em função das suas concentrações nos dois diferentes cultivares de milho.

Observando a média dos teores de N nos cultivares de milho, notamos que o cultivar tolerante apresentou teores de N um pouco maiores que o sensível, concordando com os resultados obtidos por (TRANI *et al.* 1983). GALVEZ e CLARK (1991) comprovaram uma absorção de N significativamente menor na variedade de sorgo sensível, em relação à variedade tolerante em condições de pH ácido.

O P tem comportamento semelhante à maioria dos nutrientes, acusando superior concentração no cultivar tolerante, mas sem apresentar diferença estatística significativa. PAULETTI (1995), diferindo deste estudo, encontrou correlação significativa entre os cultivares e a calagem. LUTZ *et al.* (1972a) também observaram variação nos teores de P entre os cultivares.

O K e o Ca também indicaram maior concentração no cultivar tolerante, concordando tanto com PAULETTI (1995) quanto com LUTZ *et al.* (1972a), que obtiveram, porém, comprovação estatística significativa para a diferença.

Os teores de Mg entre os dois cultivares não variaram, concordando com CAMBRAIA *et al.* (1983a) e discordando tanto de PAULETTI (1995) como de RAMIREZ e BERENJEL (1984), que observaram maior acúmulo de Mg no cultivar tolerante.

O Zn apresentou apenas tendência de menor acúmulo no cultivar tolerante, ao contrário de PAULETTI (1995), que encontrou significativa diferença entre as médias dos dois cultivares, apresentando o Cargill concentração de Zn superior ao HS.

O Cu, como o Zn, assinalou comportamento diferente da maioria dos nutrientes, com maiores teores no cultivar sensível, resultado que difere de PAULETTI (1995), em cujo estudo os teores de Cu no cultivar tolerante foram

significativamente maiores do que na sensível. Já para CAMBRAIA *et al.* (1983a) os cultivares de sorgo, pesquisados no seu experimento, não apresentaram diferenças para os teores de Cu.

O Mn, como a maioria dos elementos, demonstrou tendência de maior concentração no cultivar tolerante, concordando com PAULETTI (1995).

Os teores médios de Al foram superiores no cultivar tolerante em relação ao sensível, porém sem diferença estatística significativa. Esta tendência foi comprovada na cultura do milho tanto por PAULETTI (1995) quanto por RAMIREZ e BERENJEL (1984): acredita-se estar relacionada com algum mecanismo de tolerância interna, realizado pelo acúmulo do elemento em tecidos de menor atividade (MARSCHNER, 1985).

4.2.4 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DAS FOLHAS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO

Neste tópico serão apresentados individualmente todos os dados relativos aos teores nutricionais dos 10 nutrientes avaliados nas *folhas índices* (3.7.10) e nas *lâminas foliares*, coletadas quanto a sua posição (3.7.2).

Os teores nutricionais das *folhas índices* serão apresentados na primeira etapa e se referem ao restante dos resultados da primeira avaliação, os quais ainda não foram discutidos.

Os resultados referentes à composição mineral das *lâminas foliares*, isto é, teores nutricionais de toda a massa foliar, conforme a calagem e a posição da folha na planta, avaliados na segunda análise, serão discutidos na segunda etapa.

A avaliação dos resultados de cada um dos 10 elementos é individual e, além da discussão das duas etapas, apresenta comentários sobre as correlações existentes entre os teores dos nutrientes avaliados nas *folhas Índices* e as demais *variáveis respostas* (Anexo 1). Todos os gráficos estão associados ao texto, onde são chamados de figuras.

Na primeira etapa de discussão, para os nutrientes em que a adição de calcário interferiu significativamente nos teores nutricionais das *folhas Índices*, conforme o teste DMS de análise das médias com 5% de probabilidade, realizou-se uma regressão polinômica, que é apresentada logo abaixo do gráfico, além da representação do comportamento por meio da curva, que se insere no próprio gráfico. Conseqüentemente, os gráficos que não apresentam a curva e a equação de regressão assinalam nutrientes que não sofreram alterações significativas com a calagem. Neste caso consideram-se os níveis representados pelas barras como indicativos de tendências. Interessa lembrar que, como não houve interações significativas das doses crescentes de calcário com os cultivares, foi possível discutir os resultados da primeira análise separadamente. O tópico anterior (4.2.3) apresentou as diferenças entre os cultivares e agora, nesta primeira etapa do tópico 4.2.4, será discutido o comportamento médio dos dois cultivares em relação às doses crescentes de calcário. Os gráficos que apresentam os resultados desta primeira etapa de avaliação possuem 4 colunas (4 níveis de calagem) , todas na cor azul.

A segunda etapa descreve na avaliação individual dos cultivares, além do efeito da calagem, as médias dos teores de cada um dos 10 nutrientes nas folhas, conforme a sua posição (S=Superior, M=Média e I=Inferior), com o objetivo de indicar o comportamento, consoante a idade das folhas. O resultado

do teste DMS de análise das médias com 5% de probabilidade está representado pelas letras minúsculas a, b ou c, que se colocam nos gráficos ao lado das representações das folhas S, M e I. Assim, as letras maiúsculas (S, M e I), seguidas de letras minúsculas diferentes (a, b ou c), representam médias que diferem estatisticamente entre si. Quando não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos teores dos nutrientes, nas diferentes posições das folhas, aboliram-se as letras minúsculas, porquanto todas as maiúsculas seriam, neste caso, seguidas de "a", uma vez que não haveria como diferenciá-las.

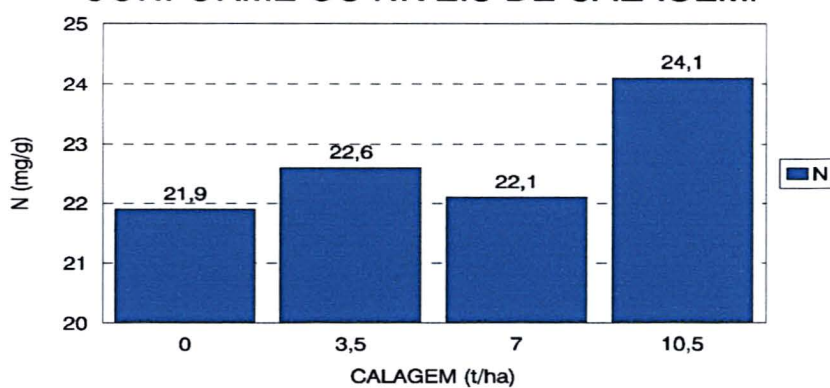
Como na primeira etapa de discussão, quando as diferenças não foram significativas, deve-se considerar os níveis representados pelas colunas como indicativos de tendências. Cada cultivar possui 10 gráficos referentes a segunda análise estatística. Os gráficos apresentam 12 colunas: 4 níveis de calagem por 3 posições de folha, na cor vermelha, amarela e azul.

4.2.4.1 NITROGÊNIO

Na primeira etapa, os teores de N nas *folhas índices* das plantas de milho apresentaram a tendência de aumento com os níveis crescentes de calagem (Figura 6), porém não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos, se comparadas estatisticamente (Anexo 8), resultado que se relata também no trabalho desenvolvido por SMITH *et al.* (1986). Já LIM e SHEN (1978), como FORESTIERI e DE-POLLI (1990), como QUAGGIO *et al.* (1993) e ROSOLEM *et al.* (1994) observaram o mesmo comportamento, porém comprovaram estatisticamente o aumento na concentração foliar de N com a

aplicação de calcário ao solo. No trabalho desenvolvido por PAULETTI (1995), em que se avaliaram dados do mesmo experimento, correspondentes porém aos resultados da safra anterior, a qual foi cultivada com o mesmo cultivar tolerante (C 525 M), mas com um cultivar sensível diferente (HS 7777) ao avaliado por este trabalho, observou-se para a concentração foliar de N uma significativa interação dos cultivares com as doses de calcário aplicadas ao solo.

FIGURA 6. TEORES DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



Na avaliação dos resultados da análise de correlação (Anexo 1) realizada entre as *variáveis respostas* do experimento, observa-se que a concentração de N apresenta correlação positiva com a produção, com o diâmetro de colmo e com os teores de P. Tais resultados são semelhantes às informações de PAULETTI (1995) sobre a análise de correlação dos seus dados.

A tendência de aumento da concentração de N com a calagem revela: houve maior absorção do N com a neutralização do Al, principalmente porque, além de ter ocorrido pequeno aumento do teor do nutriente nas folhas de milho, houve paralelamente maior produção de massa seca foliar (Figura 4), em consequência da melhoria das condições do solo. Neste caso, em condições de mesma absorção de N entre os diversos níveis de calagem, teria sido observado

o decréscimo na concentração do nutriente na planta, causado pela diluição do nutriente no vegetal, com o aumento da massa total. Tal observação é indispensável, porque pode justificar a manutenção ou o pouco significativo aumento na concentração dos nutrientes, em função da calagem, não somente para o nitrogênio, mas para diversos outros elementos avaliados no experimento. Este fato evidencia, uma vez mais, a importância das diferenças entre os parâmetros absorção e concentração de nutrientes, alertando para a necessidade de se realizar correta interpretação dos resultados no desenvolvimento da pesquisa científica.

Os teores foliares de N, determinados nas *folhas índices*, estão um pouco abaixo do nível normal em plantas de milho, segundo MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995), mas é importante atentar para o fato de que os níveis sugeridos pelos autores se reportam aos teores ideais, e que valores um pouco abaixo destes não caracterizam necessariamente deficiências nutricionais. Além disso: houve aplicação de fertilizantes nitrogenados (3.5); não foram observados sintomas de deficiência de nitrogênio durante a condução do experimento. Apesar disso, a tendência de aumento na concentração, passando de níveis considerados baixos para adequados, provavelmente está associada ao aumento na disponibilidade do elemento, atribuído neste caso à possível liberação orgânica do elemento. Tratando-se do segundo ano de cultivo de milho na área, intercalado com aveia em plantio direto, acredita-se que a calagem tenha promovido homogeneização e melhoria nas condições de solo, com benefício de produção de massa verde e decomposição de matéria orgânica.

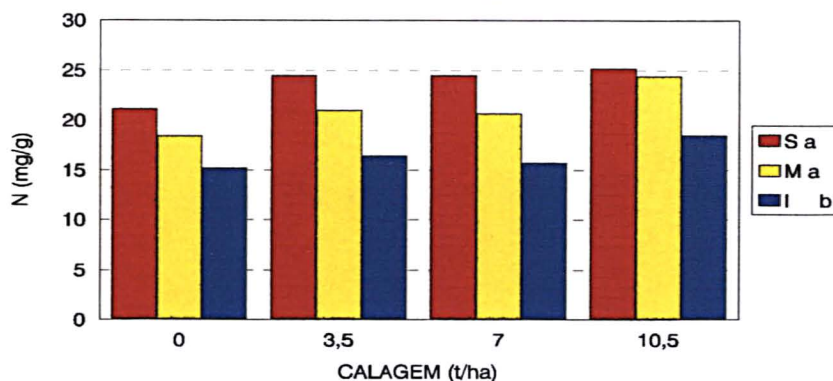
Na segunda etapa, na avaliação individual dos cultivares, também não foi verificada alteração significativa dos teores de N em função da calagem,

conquanto se haja observado, da mesma maneira que na primeira etapa, certa tendência de aumento dos teores com a calagem (Figuras 7 e 8).

A confirmação de aumento na absorção de N com a calagem pode ser definida pela observação dos resultados do cálculo de extração de nutrientes via foliar exibido nas tabelas 7 e 8 (Anexos 2 e 3). A tendência de aumento na absorção com a calagem é evidente para os dois cultivares. O tratamento que recebeu 10,5 toneladas de calcário por hectare apresentou absorção de nitrogênio média, nos dois cultivares, 78 % superior em relação ao tratamento que não recebeu o corretivo.

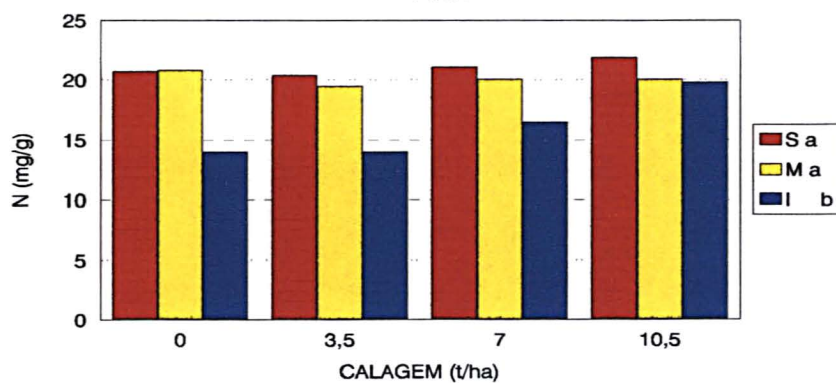
Com relação à posição da folha, pode-se afirmar que a concentração de N nas folhas mais velhas é significativamente menor que nas demais folhas em ambos os cultivares (Figuras 7 e 8 e Anexos 18 e 28). Tal comportamento é característico da espécie no período de pleno florescimento, época em que se realizou a coleta dos dados. Conforme a fisiologia da maioria das plantas, nesta fase de desenvolvimento, toda a parte vegetativa já está formada e já se iniciou a redistribuição do nitrogênio, nutriente que possui alta mobilidade na planta, podendo ser translocado com facilidade.

FIGURA 7. TEORES NUTRICIONAIS DE NITROGÊNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

FIGURA 8. TEORES NUTRICIONAIS DE NITROGÊNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



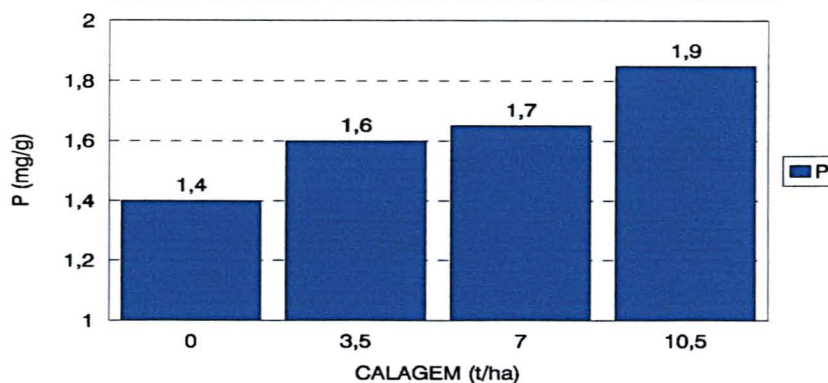
*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

4.2.4.2 FÓSFORO

O fósforo é nutriente com elevada importância para os vegetais; possui diversas funções: elemento estrutural, transferidor de energia, regulador metabólico e reserva. Neste caso, seguindo as recomendações técnicas para o cultivo do milho, realizou-se adubação fosfatada juntamente com o plantio, consoante se descreveu anteriormente (tópico 3.5). Apesar da adubação, os teores foliares de P encontrados estavam em níveis inferiores aos sugeridos tanto por MALAVOLTA *et al.* (1989), quanto por TRANI *et al.* (1983) e também por PAULETTI (1995). Como não foram observados sintomas de deficiência, acredita-se que a situação do P é semelhante a do N: a concentração considerada baixa se relaciona a valores inferiores aos ideais, porém ainda suficientes para o desenvolvimento normal da planta. Na primeira etapa de avaliação dos resultados, a concentração de P nas *folhas índices* das plantas de milho apresentou tendência de aumento com a calagem (Figura 9), porém não houve diferenças estatísticas significativas entre os níveis de calagem (Anexo 9). A não comprovação estatística dos resultados possivelmente se relaciona com dois fatores: primeiro, como se pode observar nas tabelas 3 e 4, a variação da disponibilidade do elemento no solo foi muito modesta, possivelmente pelo fato de o pH ter aumentado somente cerca de 1,0 ponto entre o tratamento sem calagem e o que recebeu 10,5 toneladas por hectare do corretivo. Da mesma maneira, BUZZETI *et al.* (1991) observaram pouca alteração na disponibilidade de P com a adição de calcário ao solo. Em segundo lugar, da mesma forma que para o N, estima-se que ocorreu aumento na absorção de P com a calagem, e

que esta diferença tenha sido amenizada pela diluição do nutriente na planta, ocasionada pela maior produção de massa seca foliar (Figura 4).

FIGURA 9. TEORES DE FÓSFORO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



A análise de correlação (Anexo 1) entre os teores de P das *folhas índices* e as demais *variáveis respostas*, revelou que o comportamento do P é inverso ao do Mn e, semelhante ao comportamento do rendimento de grãos, do diâmetro do colmo, da massa seca foliar e dos teores de N e Mg.

Na segunda etapa, na avaliação individual dos cultivares (Anexos 19 e 29), a concentração de P nas *lâminas foliares* de milho aumentou com a adição de calcário no cultivar Cargill, sendo realizada uma regressão polinômica para representar o comportamentos das doses (Figura 10). O cultivar HS se manteve mais estável (Figura 11), discordando tanto de LEE (1971) quanto de RAMIREZ e BERENJEL (1984), em cujos estudos o comportamento com relação à calagem foi mais evidente no cultivar suscetível em relação à tolerante.

A grande maioria dos autores consultados, que desenvolveram trabalhos para avaliar o comportamento de P perante alterações de pH, como QUAGGIO *et al.* (1993), evidenciaram aumento da disponibilidade do elemento no solo com a

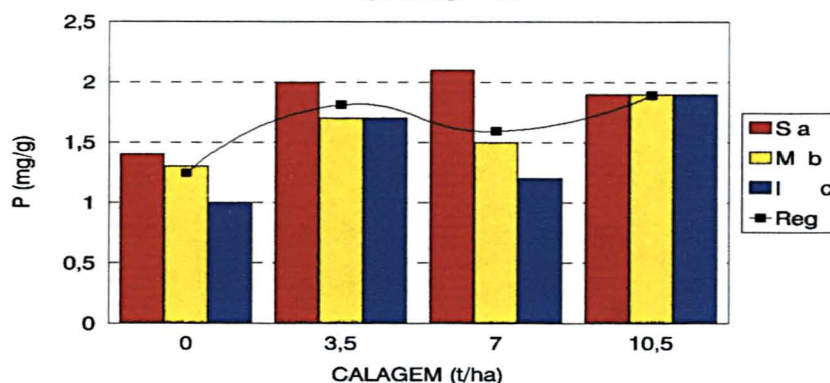
neutralização da acidez. Para LUTZ *et al.* (1972a) e ROSOLEM *et al.* (1994) este comportamento também influenciou a concentração do elemento nas plantas, uma vez que atribuíram ao aumento de pH a maior concentração de P no milho.

Além do pH, o efeito do alumínio também deve ser considerado. Para LEE (1971) como para RAMIREZ e BERENJEL (1984) houve menor absorção de P na presença de Al em solução nutritiva, respectivamente para a cultura da batata e do milho.

No cálculo da extração de nutrientes via foliar (*lâminas foliares*), o aumento da absorção de P nos dois cultivares foi evidente. Analisando as tabelas 8 e 9 (Anexos 2 e 3), pode-se atribuir aumento médio para os dois cultivares de 83% entre a testemunha e o tratamento, onde houve neutralização total do alumínio.

Na maioria das plantas, o P que é absorvido se envolve em processos metabólicos, sendo 80% incorporado a complexos orgânicos; pode ser redistribuído das folhas mais velhas para as mais novas, porquanto é essencial em pontos de crescimento. Na análise que avaliou separadamente os cultivares (Anexos 19 e 29 e Figuras 10 e 11), tanto para o HS quanto para o Cargill, observaram-se diferenças no acúmulo dos nutrientes, conforme a posição das folhas, indicando que, provavelmente, já se iniciou a translocação do nutriente, uma vez que a concentração de fósforo nas folhas mais velhas é significativamente menor que nas intermediárias; estas, de igual modo, diferem das folhas mais novas.

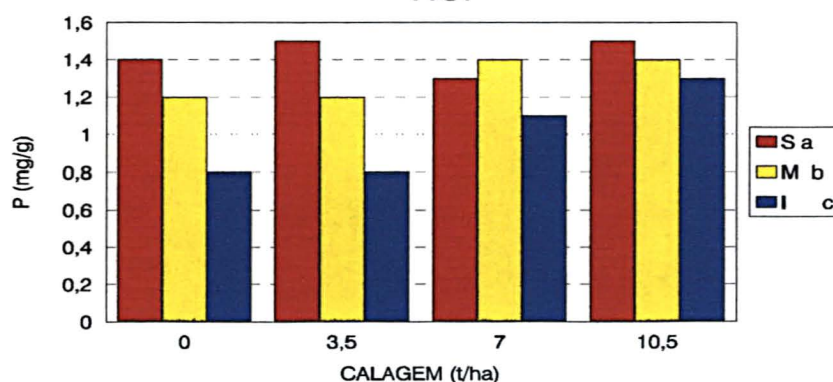
FIGURA 10. TEORES NUTRICIONAIS DE FÓSFORO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



$$\hat{y} = 1,24166667 + 1,39393940x - 1,04356061x^2 + 0,21704546x^3$$

*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

FIGURA 11. TEORES NUTRICIONAIS DE FÓSFORO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

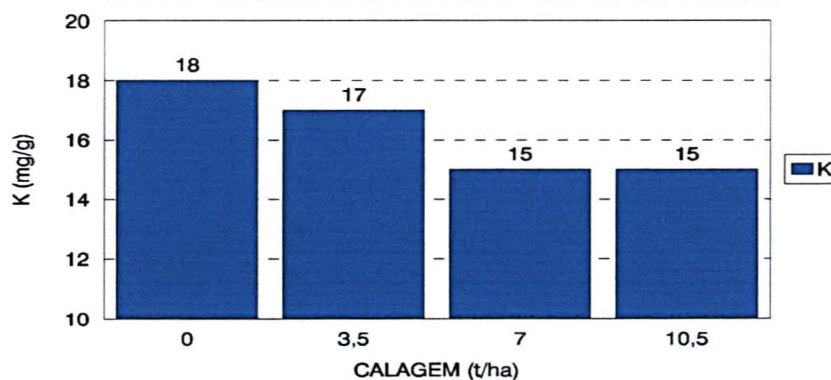
4.2.4.3 POTÁSSIO

A concentração de potássio não apresentou variação significativa entre as médias dos diferentes níveis de calagem na primeira etapa de avaliação dos resultados (Anexo 10), apesar de haver forte tendência de diminuição dos teores de K na planta com a aplicação de calcário no solo (Figura 12). Da mesma forma, consoante as tabelas 3 e 4, observou-se diminuição da disponibilidade do elemento no solo com a calagem. PAULETTI (1995) não obteve significativa variação dos teores foliares de K com a calagem, mas observou a mesma tendência de diminuição da concentração com a calagem, fato que foi estatisticamente comprovado nos trabalhos de LUTZ *et al.* (1972a) e MUCHOVEJ *et al.* (1993), que cultivaram milho e soja respectivamente.

Conquanto a diferença entre os tratamentos não seja estatisticamente significativa, as tendências confirmam a diminuição da disponibilidade do elemento com a calagem. Naquele sem aplicação de calcário (testemunha), os teores foliares de K se encontravam dentro da faixa considerada ideal para a cultura do milho segundo MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995). Nos tratamentos que receberam a aplicação do corretivo, a concentração média caiu, mesmo com a adubação potássica realizada no plantio, conforme anteriormente foi descrito (3,5) e segundo as recomendações técnicas para o cultivo do milho. Na análise de correlação (Anexo 1) o K apresentou correlação positiva com o Mn, e negativa com os teores de Mg. Isto se deve ao fato de que o comportamento de K diferiu da maioria dos parâmetros analisados, porquanto estes aumentam os seus os valores, e a concentração de K sofre decréscimo com a calagem. Importa lembrar que a análise de correlação é uma

avaliação complementar dos resultados, para que se possa identificar algumas tendências. As conclusões sobre os comportamentos devem ser cautelosas, visto que todos os parâmetros analisados são *variáveis respostas* e, conseqüentemente, não podem justificar os resultados. A concentração de potássio é exemplo claro que pode ser citado, dado que possui correlação negativa com o rendimento de grãos, o que não indica que o nutriente prejudica o rendimento da cultura, afirmação que seria evidentemente incorreta. O resultado da correlação assinala que a calagem, assim como promove aumento na produtividade, provoca diminuição na concentração do potássio na planta, conclusão totalmente diferente.

FIGURA 12. TEORES DE POTÁSSIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.

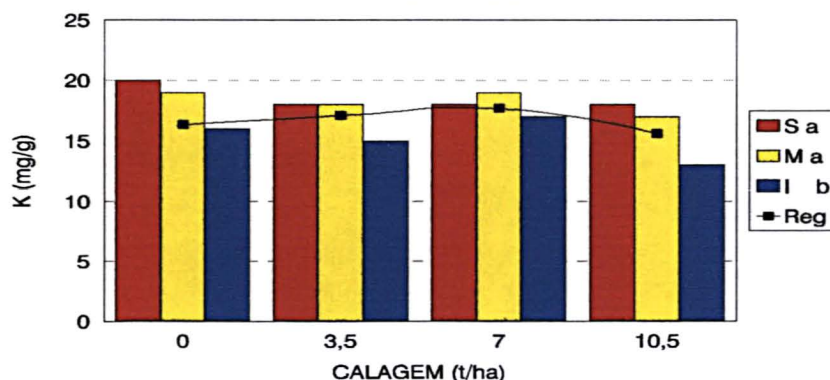


Na segunda etapa de avaliação, a análise diferenciada entre os cultivares apresentou para o cultivar Cargill variação significativa dos teores de K com a calagem e com a posição da folha, ao passo que o HS se manteve mais estável (Anexos 20 e 30 e Figuras 13 e 14). No cultivar tolerante, também se evidenciou concentração de K significativamente menor nas folhas mais velhas em relação às mais novas e às intermediárias: o comportamento sugere que já tinha sido iniciada a translocação do K na planta. Tratando-se de nutriente com mobilidade

no vegetal, podemos afirmar: neste estágio de desenvolvimento, a demanda de K nas partes mais novas do vegetal é maior, evidenciada pela maior concentração nos tecidos mais novos.

Apesar da tendência de diminuição dos teores de K com as doses crescentes de calcário, o cálculo que indica a absorção do nutriente (Anexos 2 e 3) apresenta tendência de aumento para os dois cultivares com a neutralização do alumínio trocável do solo.

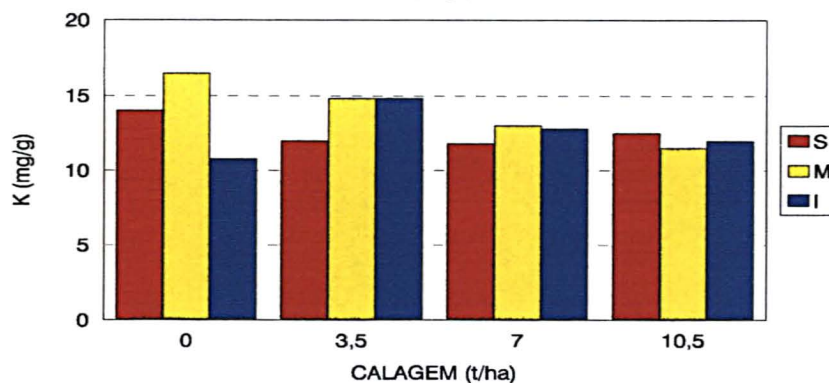
FIGURA 13. TEORES NUTRICIONAIS DE POTÁSSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



$$\hat{y} = 18,33333 - 3,643939x + 3,147727x^2 - 0,746212x^3$$

*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

FIGURA 14. TEORES NUTRICIONAIS DE POTÁSSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras S, M e I representam a posição das folhas nas plantas de milho: Respectivamente superior, média e inferior.

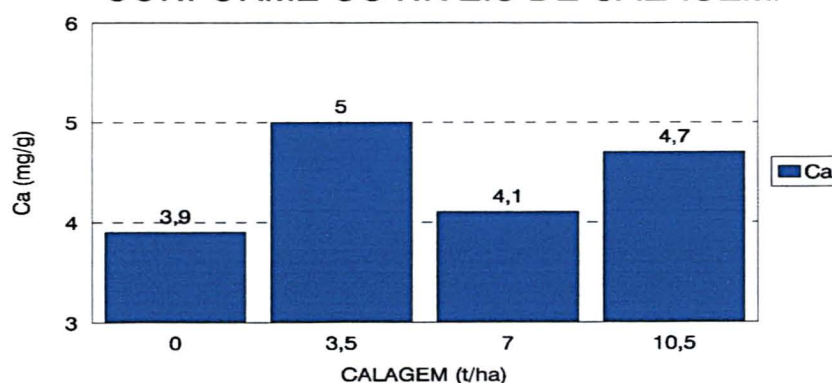
4.2.4.4 CÁLCIO

Na primeira etapa de avaliação, o cálcio apresentou comportamento pouco variável com relação às doses de calcário aplicadas (Anexo 11 e Figura 15), provavelmente pelo fato de os teores de cálcio na planta estarem, em todos os tratamentos em níveis considerados adequados para a planta de milho, conforme MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995). Além disso, o cálcio tem como característica própria uma resposta menos acentuada na sua absorção com o aumento da sua disponibilidade, devido ao seu mecanismo de absorção. Nos trabalhos desenvolvidos com plantas de milho por SMITH *et al.* (1986) e PAULETTI (1995), o aumento da disponibilidade do elemento no solo com a calagem também não interferiu na concentração do nutriente nas folhas.

Nos experimentos em solução nutritiva os resultados são diferentes: não é avaliado o efeito do pH e a disponibilidade do Ca e sim o efeito da presença do alumínio que interfere na absorção do Ca. Para LEE (1971) houve decréscimo na concentração e na absorção de Ca pela planta de batata à medida que aumentava o teor de Al na solução nutritiva. Tanto RAMIREZ e BERENJEL (1984) quanto ALVES *et al.* (1988) também observaram que, em doses crescentes de alumínio, há o decréscimo do teor de Ca em plantas de milho e trigo respectivamente.

No solo, os resultados do presente trabalho foram mais evidentes: houve melhoria na disponibilidade do elemento com a calagem (Tabelas 3 e 4), em concordância com estes pesquisadores: MASCARENHAS *et al.* (1976), GUILHERME *et al.* (1989), BUZETTI *et al.* (1991), SHAMSHUDDIN *et al.* (1991), MUCHOVEJ *et al.* (1993), KORNELIUS e RITCHEY (1992) e CAIRES e ROSOLEM (1993a).

FIGURA 15. TEORES DE CÁLCIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.

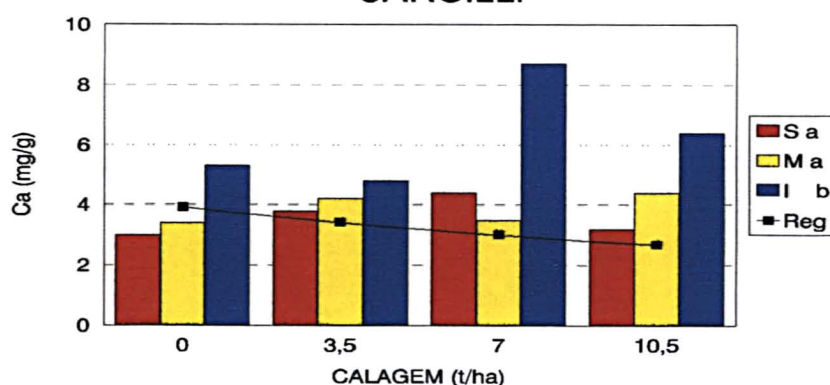


Na análise de correlação realizada com os teores de Ca nas *folhas índices* observaram-se relações positivas com os teores de Mg.

Na segunda etapa de avaliação, que avaliou separadamente os dois cultivares, observou-se que o cálcio das *lâminas foliares*, ou seja, a concentração de Ca média de todas as folhas das três plantas amostradas em cada tratamento apresentou interação significativa das doses de calcário com a posição das folhas para o cultivar Cargill (Anexo 31 e Figura 16). Para o HS, da mesma maneira que para as *folhas índices* da primeira etapa de avaliação, não houve diferenças significativas em função dos níveis de calagem. No cálculo da absorção do Ca nas *lâminas foliares* (Anexo 2 e 3), o resultado foi mais evidente: O cultivar HS apresentou acréscimo de 62% entre a testemunha e o tratamento que recebeu 3,5 toneladas de calcário por hectare; o Cargill também apresentou aumento gradativo; entre a testemunha e o tratamento com 10,5 toneladas de calcário por hectare registrou-se diferença de 77%.

O comportamento quanto à posição das folhas indicou para o cultivar Cargill uma interação com os níveis de calagem. Para o cultivar HS, observou-se significativo acúmulo de Ca nas folhas inferiores (Anexo 21 e Figura 17). O mesmo comportamento também foi caracterizado em plantas de ervilha por CARY *et al.* (1994), em cujo levantamento as folhas mais velhas, principalmente em condições de acidez de solo, apresentaram concentração de Ca maior que no restante do vegetal. Tal comportamento se justifica pela própria característica do elemento que assume funções estruturais no vegetal, tornando-se imóvel, sem capacidade de redistribuição.

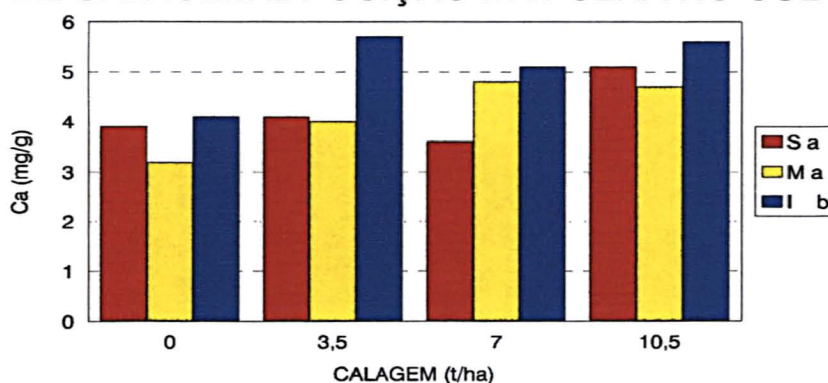
FIGURA 16. TEORES NUTRICIONAIS DE CÁLCIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



$$\hat{y} = 3,8712037 - 0,411009259x$$

*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

FIGURA 17. TEORES NUTRICIONAIS DE CÁLCIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

4.2.4.5 MAGNÉSIO

Nos resultados tanto da primeira quanto da segunda etapa, o magnésio teve o comportamento mais evidente de todos os nutrientes avaliados.

Na primeira avaliação, apresentou variação altamente significativa da dose (Anexo 12), ou seja, os teores de magnésio das *folhas índices* variam com as doses de calcário aplicadas (Figura 18), sendo necessária a realização de regressão polinômica, neste caso cúbica, para melhor representar o comportamento. PAULETTI (1995) obteve o mesmo resultado, que se justifica, em parte, pelo fornecimento de Mg pelo próprio corretivo, mas principalmente por meio da neutralização do Al e melhoria das condições de solo. Tanto segundo HAIRIAH *et al.* (1991), como segundo BUZETTI *et al.* (1991), ou segundo KORNELIUS e RITCHEY (1992) e CAIRES e ROSOLEM (1993a), o aumento de pH melhora a disponibilidade de Mg, comportamento que pode ser claramente observado nas tabelas 3 e 4. Além disso, o Mg é constituinte do próprio corretivo, sendo fornecido nos tratamentos que receberam o calcário.

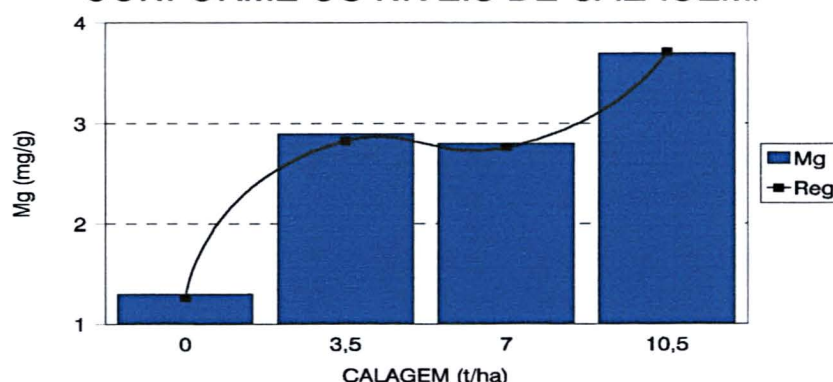
Outro fator importante deve ser considerado: os teores de Mg no tratamento sem calagem estavam abaixo dos teores normais da planta sugeridos por MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995). Tal condição não foi verificada para o cálcio (4.2.4.4); houve mais esta diferença entre a absorção dos dois nutrientes.

Para LUTZ *et al.* (1972a) e ROSOLEM *et al.* (1994) o aumento de pH provoca maior absorção e concentração de Mg em plantas de milho. Tanto CAMBRAIA *et al.* (1983a) quanto CAMBRAIA *et al.* (1983b), trabalhando com sorgo e RAMIREZ e BERENJEL (1984) com milho, verificaram a tendência de

aumentarem os teores de Mg nas plantas, à medida que diminuía os teores de Al na solução nutritiva. Em experimento de batata, LEE (1971) verificou interação significativa dos teores de Mg na planta com o cultivar, conforme a tolerância para os níveis de Al na solução nutritiva. Em solos cultivados com soja, o aumento na disponibilidade do elemento atribuído à prática da calagem promoveu maior concentração de Mg foliar (MUCHOVEJ *et al.* 1993).

Na análise de correlação realizada entre os teores de Mg nas *folhas índices* e as demais *variáveis respostas*, observaram-se resultados semelhantes aos de PAULETTI (1995) com valores positivos em relação a concentração de P, de Ca e Zn, aos parâmetros morfológicos e ao rendimento de grãos, e com valores negativos em relação aos teores de K, de Cu, de Al e Mn na planta.

FIGURA 18. TEORES DE MAGNÉSIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



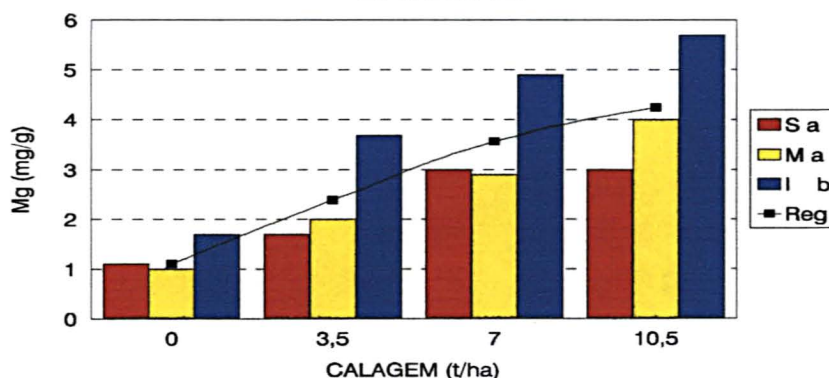
$$\hat{y} = 1,2625 + 3,25416666x - 2,13125x^2 + 0,4395833x^3,$$

Os resultados da segunda etapa evidenciam isto: da mesma maneira que para a média dos dois cultivares, a análise individual de cada um deles apresentou correlação altamente significativa da dose (Anexos 22 e 32 e Figuras

19 e 20), evidenciando o comportamento já verificado nas *folhas índices*. Além disso, ambos os cultivares apresentaram acúmulo de Mg estatisticamente significativo com a idade das folhas, resultado também evidenciado em plantas de ervilha por CARY *et al.* (1994). O magnésio é elemento com mobilidade intermediária na planta; o seu acúmulo nas folhas mais velhas, observado no experimento, indica que ainda não se iniciou o processo de translocação do magnésio na planta, apesar de haver a necessidade de redistribuição, porquanto os teores nas folhas mais novas estão abaixo do normal.

No cálculo da absorção, mais uma confirmação com relação ao Mg, elemento que teve novamente o resultado mais evidente (Anexos 2 e 3): apresentou diferença média de Mg absorvido de 107% entre cada nível crescente de calagem utilizado, resultado médio para os dois cultivares.

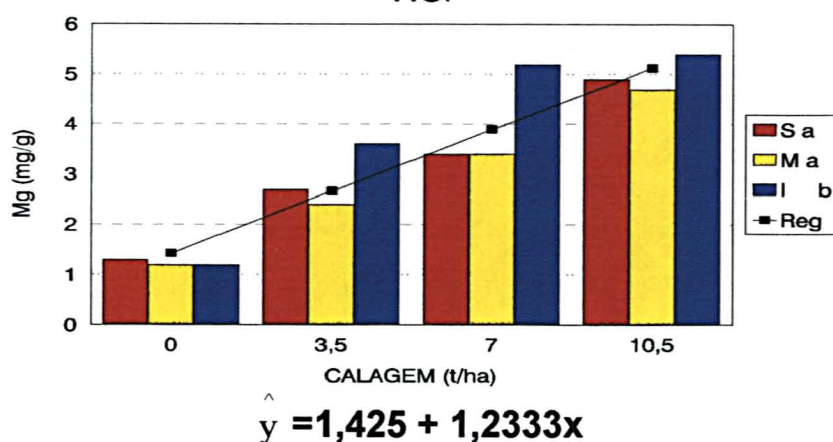
FIGURA 19. TEORES NUTRICIONAIS DE MAGNÉSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



$$\hat{y} = 1,10167 + 1,18962121x + 0,15962121x^2 - 0,06909091x^3$$

*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

FIGURA 20. TEORES NUTRICIONAIS DE MAGNÉSIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

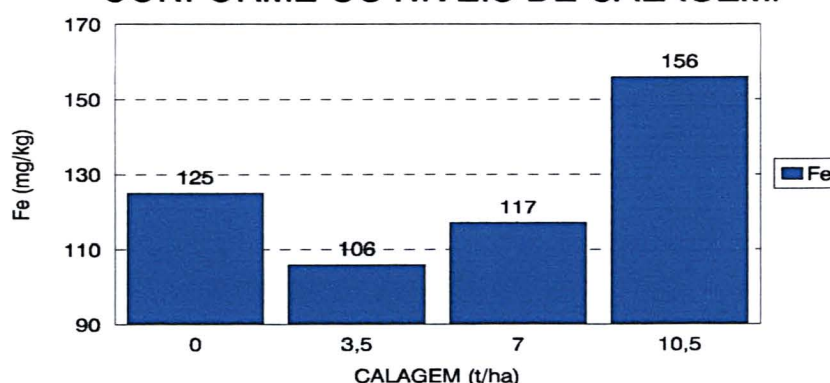
4.2.4.6 FERRO

Na primeira etapa de avaliação observou-se que os níveis de ferro nas *folhas índices* não apresentaram variações significativas com a calagem, e se mantiveram dentro da faixa normal (Anexo 13) para as plantas de milho, conforme MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995). Apesar do resultado, da mesma forma, tanto para CAMBRAIA *et al.* (1983a), quanto para RAMIREZ e BERENJEL (1984) e para PAULETTI (1995), algumas tendências puderam ser observadas com a concentração do Fe na planta, o qual diminuiu com as doses intermediárias do corretivo, e aumentou no final com a neutralização do alumínio trocável, quando chegou a ultrapassar os teores

inicialmente encontrados (Figura 21). A explicação encontrada por CAMBRAIA *et al.* (1983a), que trabalhou com doses crescentes de Al em solução nutritiva, justifica a diminuição dos teores de Fe na planta pela incapacidade de as raízes reduzirem o Fe^{+3} a Fe^{+2} (forma assimilada pela planta) na presença do alumínio. Desta maneira, com a diminuição da disponibilidade do alumínio haveria maior absorção de Fe. Também segundo os mesmos autores, os sintomas de deficiência geralmente são mais visíveis no cultivar sensível, sintomas ocasionados principalmente pela perda da mobilidade do Fe nestas situações.

No solo o elemento apresentou diminuição mais efetiva dos seus teores com a calagem (Tabelas 3 e 4), resultado semelhante a SHAMSHUDDIN *et al.* (1991). Na análise de correlação não foram evidenciadas tendências (Anexo 1).

FIGURA 21. TEORES DE FERRO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



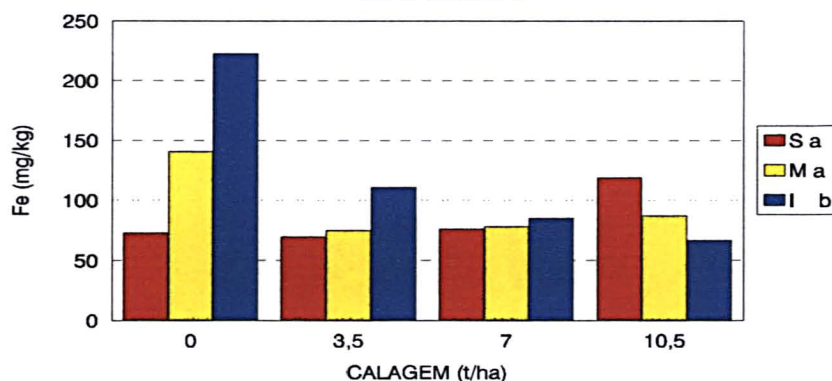
Na segunda etapa de avaliação, na análise das *lâminas foliares* individualmente para os cultivares, não foram encontradas diferenças significativas da dose para o cultivar tolerante (Anexo 33 e Figura 22), ao passo que o sensível apresentou interação altamente significativa da dose de calcário aplicada com a posição das folhas (Anexo 23 e Figura 23).

Na análise da extração de Fe, realizada também por meio das *lâminas foliares* (Anexos 2 e 3), o elemento apresentou decréscimo médio nos dois cultivares de 28% entre a testemunha e o tratamento que recebeu 10,5 toneladas de calcário por hectare.

QUAGGIO *et al.* (1985), trabalhando com calagem em doses crescentes, em plantas de feijão, verificaram aumento nos teores de ferro e, em plantas de milho, a manutenção da concentração; nestes casos possivelmente a melhoria nas condições gerais do solo e da planta interferiram positivamente na absorção do elemento: cada cultura apresentou o seu comportamento, porém nenhuma delas teve a sua concentração diminuída.

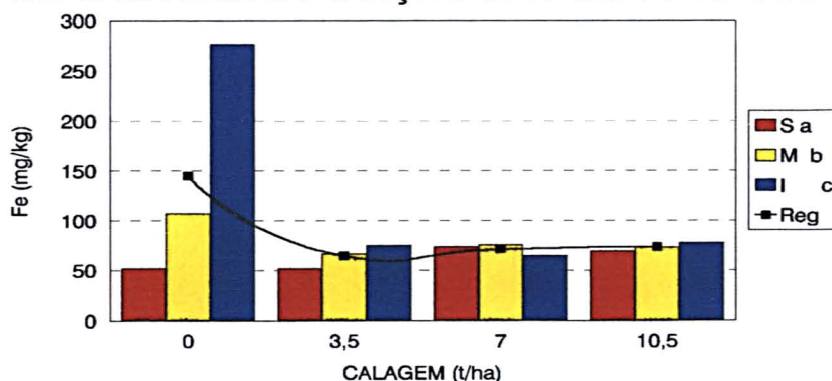
CAMARGO *et al.* (1982) e SHAMSHUDDIN *et al.* (1991) observaram o efeito mais direto do aumento de pH pela diminuição na disponibilidade do elemento com a calagem. Tal comportamento, comum para a maioria dos micronutrientes, pode ter provocado o resultado observado nas figuras 22 e 23: em ambos os cultivares, nos tratamentos que não receberam calcário, houve acúmulo de Fe nas folhas mais velhas, sugerindo alta solubilidade do elemento no solo, que provoca excessiva absorção de Fe. O acúmulo de Fe nas folhas mais velhas do tratamento sem calagem, além de ser facilmente observado na comparação com os outros tratamentos, chegou a ultrapassar os níveis normais do nutriente na planta conforme MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995). Na análise que avaliou estatisticamente a média dos teores das *lâminas foliares*, conforme a sua posição, também foram observadas diferenças estatísticas significativas em ambos os cultivares (Anexos 23 e 33 e Figuras 22 e 23).

FIGURA 22. TEORES NUTRICIONAIS DE FERRO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

FIGURA 23. TEORES NUTRICIONAIS DE FERRO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



$$\hat{y} = 144,8333 - 541,8611x + 89,93333x^2 - 15,38889x^3$$

*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

O Fe é o primeiro micronutriente discutido no presente trabalho: convém citar que é muito comum haver interferências de macronutrientes ou de outros micronutrientes na absorção destes elementos. Muitos autores citam relações entre diversos nutrientes que estão sendo avaliados como o P, K, Fe, Zn, Cu, Mn e Al. Na comparação de diversas referências bibliográficas com os teores destes elementos no solo e na planta de milho, pode-se verificar que, provavelmente, neste trabalho as interferências mais efetivas não seriam verificadas, afora a preocupação especial em relação às concentrações médias excessiva de Fe e Al nas folhas mais velhas dos tratamentos sem calagem (Figuras 22, 23, 34 e 35). Fica, neste caso, a expectativa quanto ao possível comprometimento do Fe ou do Al na absorção dos outros elementos.

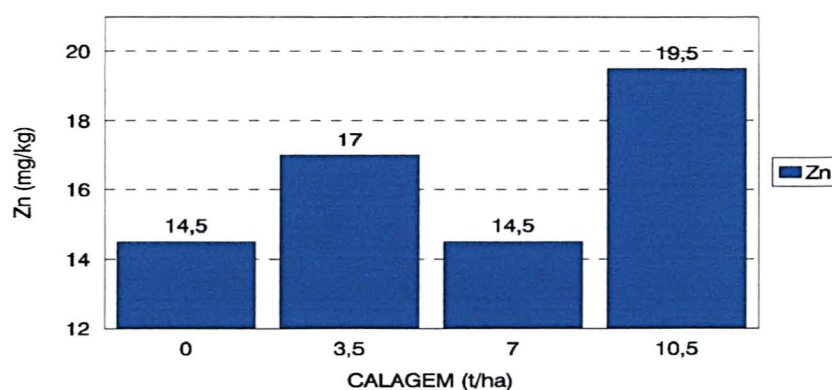
4.2.4.7 ZINCO

A grande maioria dos pesquisadores consultados para a discussão das relações entre a disponibilidade dos elementos e as condições de solo, como por exemplo BUZETTI *et al.* (1991), afirmam que há aumento da adsorção do zinco com o aumento de pH, diminuindo a sua disponibilidade. Tanto MASCARENHAS *et al.* (1988) quanto MUCHOVEJ *et al.* (1993), que trabalharam com soja, obtiveram diminuição dos teores de Zn nas plantas com a calagem: ALVES *et al.* (1988) observaram o mesmo comportamento em plantas de trigo; LUTZ *et al.* (1972b), SMITH *et al.* (1986) e ASSMANN (1995) na cultura do milho.

Apesar destas tendências, como se pode observar nas tabelas 3 e 4, a disponibilidade do Zn do solo apresentou apenas pequeno decréscimo com os tratamentos, possível resultado da pouca variação do pH provocada pela

calagem (Tabelas 3 e 4). Como consequência, na primeira etapa de avaliação, a concentração de Zn nas *folhas índices* não apresentou diferenças significativas (Anexo 14 e Figura 24), comportamento também observado em plantas de milho nos trabalhos desenvolvidos por THOMPSON (1962) e PAULETTI (1995). Conforme o resultado da análise de correlação (Anexos 2 e 3), os teores de Zn nas *folhas índices* apresentaram correlação negativa com a concentração de alumínio, e correlação positiva com os teores de Mg e com o diâmetro do colmo.

FIGURA 24. TEORES DE ZINCO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



Na segunda etapa de avaliação, a concentração de Zn nas *lâminas foliares* do cultivar HS não variou significativamente (Anexo 24 e Figura 26); no cultivar Cargill observou-se aumento significativo com a calagem (Anexo 34 e Figura 25). Tal comportamento pode ser justificado por uma série de fatores, que podem ter contribuído de maneira diferenciada, dando azo a diferentes suposições. A própria ausência do alumínio no solo melhora a absorção do Zn; segundo LEE (1971) e CAMBRAIA *et al.* (1983a), que trabalharam com batata e com sorgo respectivamente, os teores de Zn decrescem com doses crescentes de Al na

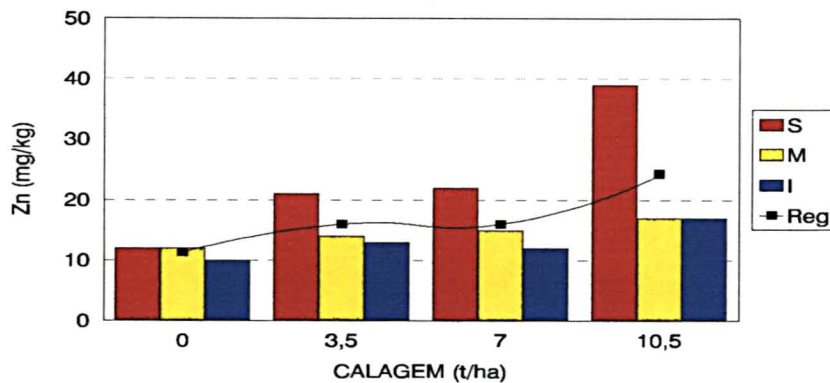
solução nutritiva. Além do efeito direto da neutralização do alumínio, a melhora das condições gerais do solo promove aumento na absorção da maioria dos nutrientes, afetando em parte a concentração de Zn nas folhas. Também se deve considerar que 60% do Zn do solo normalmente está associado a complexos orgânicos; assim os tratamentos que receberam a aplicação de calcário podem ter causado positiva interferência da matéria orgânica na liberação do elemento, devido à maior produção e decomposição de massa verde dos cultivos anteriores de inverno e verão. Outros fatores, que são citados em literatura, atribuem interferências na absorção do Zn à presença de Cu e Fe no solo, causada pela competição por sítios carregadores, porém não é o caso do presente trabalho, porquanto tal comportamento não foi observado: os teores de Cu se mantiveram em níveis considerados normais, e os teores de Fe só ultrapassaram os níveis adequados nas folhas mais velhas do tratamento sem aplicação de calcário.

Na avaliação da absorção de Zn realizada por estimativa da quantidade extraída pelas *lâminas foliares*, observaram-se resultados que indicam grande aumento na absorção de Zn em face das doses crescentes de calcário aplicadas ao solo. Os valores de Zn absorvido no tratamento em que se neutralizou todo o alumínio, foram próximos ao dobro da extração estimada na testemunha para o cultivar Cargill e superiores ao triplo para o cultivar HS..

O teor de Zn nas plantas normalmente é pequeno, mesmo em concentrações adequadas, conforme MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995). O nutriente desempenha funções em alguns sistemas enzimáticos e não tem grande mobilidade no vegetal, mas pode ser translocado das folhas mais velhas para as folhas mais novas, quando a sua concentração ultrapassa a necessidade. A análise diferenciada dos cultivares confirmou a

possibilidade de redistribuição. Para o cultivar Cargill constatou-se apenas uma tendência (Anexo 34 e Figura 25), que foi confirmada no cultivar HS (Anexo 25 e Figura 26), no qual os teores de Zn diminuíram significativamente com o aumento da idade das folhas.

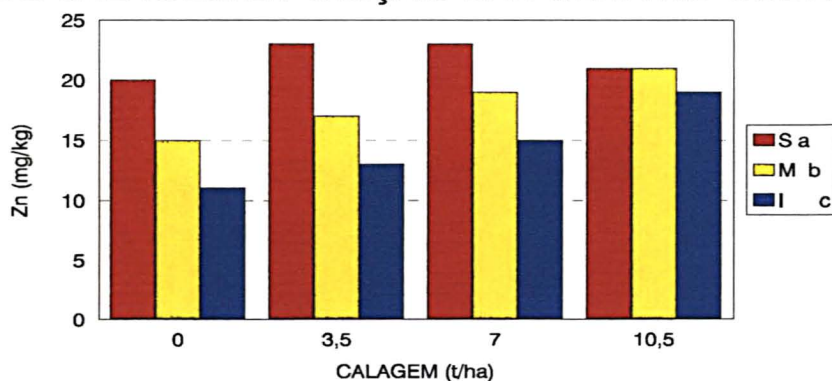
FIGURA 25. TEORES NUTRICIONAIS DE ZINCO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



$$\hat{y} = 11,3333 + 11,30556x - 8,7916667x^2 + 2,152778x^3$$

*As letras S, M e I representam a posição das folhas nas plantas de milho: Respectivamente superior, média e inferior.

FIGURA 26. TEORES NUTRICIONAIS DE ZINCO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

4.2.4.8 COBRE

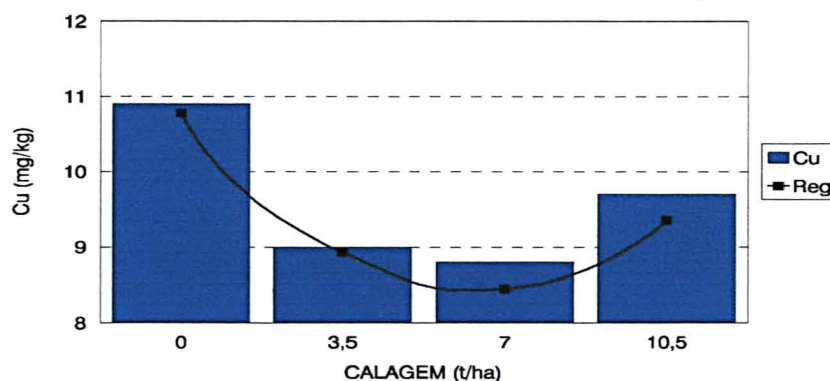
Apesar de todos os tratamentos possuírem níveis de Cu considerados adequados para plantas de milho conforme MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995), o nutriente na primeira etapa de avaliação apresentou variação significativa da dose (Anexo 15), ou seja, os seus valores decresceram com as doses crescentes de calcário aplicadas (Figura 27), conforme a regressão polinômica quadrática, que é apresentada junto ao gráfico.

Embora THOMPSON (1962), LUTZ *et al.* (1972b), QUAGGIO *et al.* (1985) e PAULETTI (1995), que trabalhavam com plantas de milho, e LEE (1971), MUCHOVEJ *et al.* (1993) e CAMBRAIA *et al.* (1983a), que trabalharam com batata, soja e sorgo respectivamente, não tenham obtido o mesmo resultado, tal conclusão é justificada simplesmente pelo fato de ter havido acentuado decréscimo na disponibilidade do Cu no solo com o aumento do pH, como se pode observar nas tabelas 3 e 4.

A queda na disponibilidade é justificada pelo aumento na capacidade de adsorção do solo sobre o elemento com o acréscimo do pH.

Na análise de correlação, o elemento somente apresentou relação negativa com a concentração de Mg das folhas nutricionais (Anexo 1).

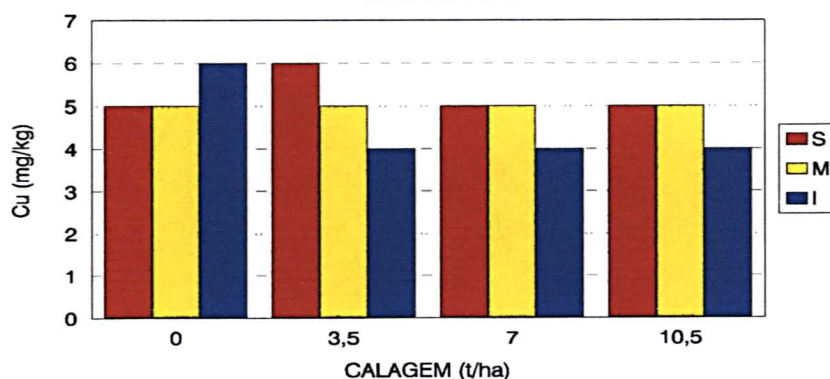
FIGURA 27. TEORES DE COBRE NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



$$\hat{y} = 10,775 - 2,5375x + 0,6875x^2$$

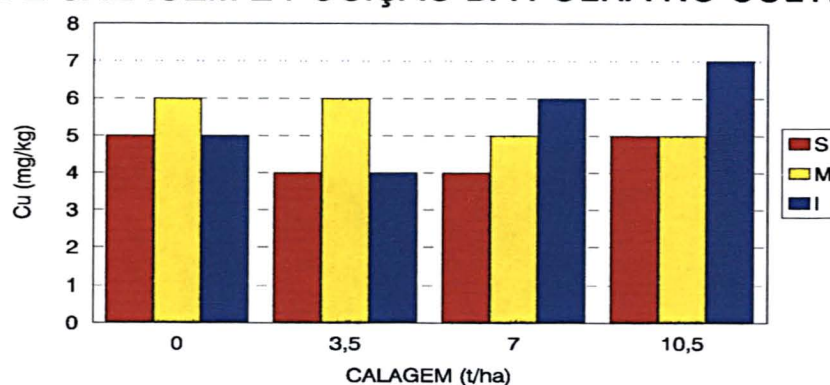
O fato de os teores nutricionais de Cu estarem adequados também justifica a ausência de diferenças entre as concentrações do nutriente conforme a posição das folhas. A análise dos cultivares separadamente não apresentou nenhum resultado significativo para os dois cultivares (Anexos 25 e 35 e Figuras 28 e 29). No cálculo da extração de nutrientes pelas *lâminas foliares* (Anexos 2 e 3), os teores de Cu apresentaram tendência de aumento com os níveis crescentes de calcário.

FIGURA 28. TEORES NUTRICIONAIS DE COBRE CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



*As letras S, M e I representam a posição das folhas nas plantas de milho: Respectivamente superior, média e inferior.

FIGURA 29. TEORES NUTRICIONAIS DE COBRE CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras S, M e I representam a posição das folhas nas plantas de milho: Respectivamente superior, média e inferior.

4.2.4.9 MANGANÊS

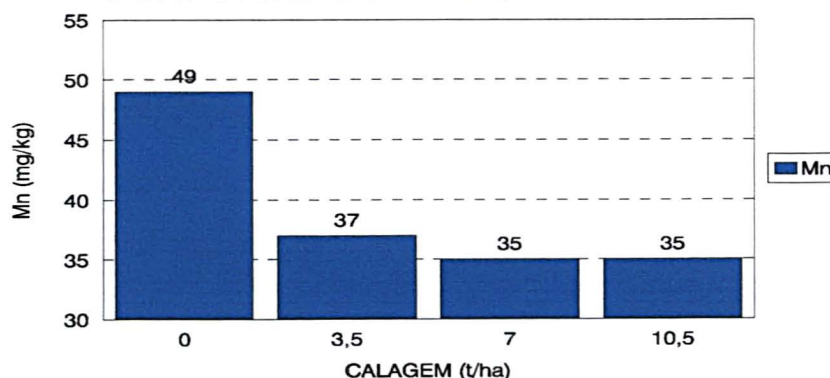
Na primeira etapa de avaliação, apesar de existir tendência de declínio na concentração foliar de Mn com as doses crescentes de calcário, a diferença não foi estatisticamente significativa (Anexo 16 e Figura 30). Talvez o decréscimo dos teores de Mn foliar tenha sido menos evidente pelo fato de a concentração do elemento na planta já estar em nível considerado abaixo do adequado, se comparado com os teores propostos por MALAVOLTA *et al.* (1989), TRANI *et al.* (1983) e PAULETTI (1995). Apesar do nível relativamente baixo do elemento na planta, sintomas de deficiência de manganês, como a clorose, não foram observados em nenhum tratamento.

Outro fator que contribuiu para a modesta variação dos teores de Mn na planta com a calagem foi a pequena variação na disponibilidade do elemento no solo, uma vez que o pH, da mesma maneira, não aumentou acentuadamente (Tabelas 3 e 4).

Segundo HAIRIAH *et al.* (1991), MUCHOVEJ *et al.* (1993) e FIGUERELO *et al.* (1993), a calagem diminui a disponibilidade de Mn. YORK *et al.* (1954), THOMPSON (1962), SMITH *et al.* (1986) e PAULETTI (1995) obtiveram nos seus trabalhos significativos decréscimos nos teores de manganês em plantas de milho com a calagem. Para ALVES *et al.* (1988), a presença do alumínio diminuiu os teores de Mn da parte aérea do trigo. LEE (1972) trabalhou com a cultura da batata em solução nutritiva; observou que nos tratamentos com menor quantidade de Al havia também menor concentração do Mn. Já para CAMBRAIA *et al.* (1983a) o Mn respondeu de maneira diferente, decrescendo a sua concentração em plantas de sorgo na presença do Al.

Na análise de correlação realizada entre a concentração de Mn e as demais *variáveis respostas*, observaram-se resultados semelhantes aos de PAULETTI (1995), com valores positivos para a concentração de K, com valores negativos para o rendimento de grãos, de massa seca foliar, de altura de plantas e dos teores de P e Mg (Anexo 1).

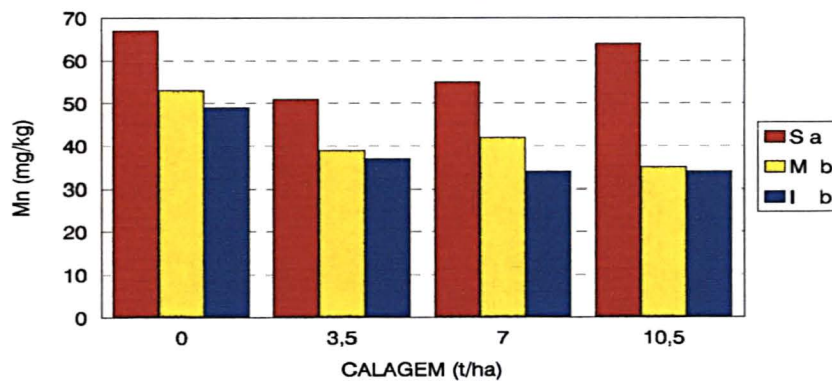
FIGURA 30. TEORES DE MANGANÊS NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



Na segunda etapa de avaliação, com a análise individual dos cultivares, também não se determinou diferença estatística significativa em função da calagem. Quanto à posição das folhas, para ambos os cultivares o Mn apresentou maiores teores nas folhas mais novas (Anexos 26 e 36 e Figuras 31 e 32): isso sugere possível redistribuição do Mn das folhas mais velhas para folhas mais novas.

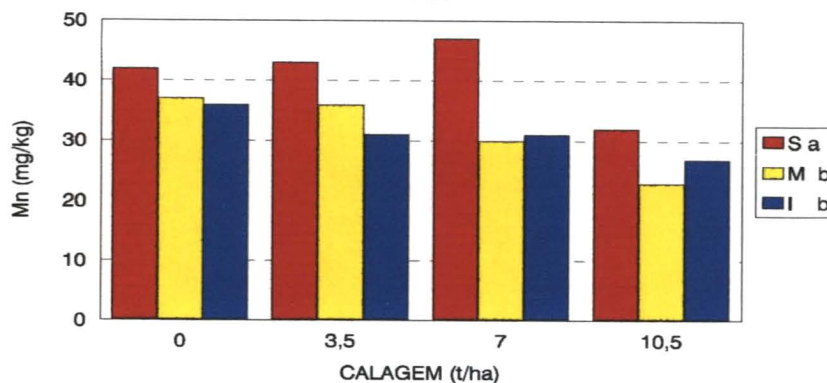
No cálculo da absorção do Mn das *lâminas foliares* (Anexos 2 e 3), o resultado indicou certa estabilidade ou até pequena tendência de aumento com a aplicação de doses crescentes de calcário.

FIGURA 31. TEORES NUTRICIONAIS DE MANGANÊS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

FIGURA 32. TEORES NUTRICIONAIS DE MANGANÊS CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras maiúsculas representam a posição das folhas nas plantas de milho (S=Superior, M=Média e I=Inferior). As letras minúsculas correspondem ao resultado da comparação estatística realizada entre as 3 posições das folhas, independentemente do nível de calagem. Letras minúsculas iguais representam médias iguais e letras diferentes representam médias diferentes, segundo teste DMS de comparação das médias, com 5% de probabilidade.

4.2.4.10 ALUMÍNIO

O alumínio apresentou pequena variação na sua concentração nas *folhas índices* com a adição de calcário nos solos (Figura 33 e Anexo 17), resultado que difere dos trabalhos desenvolvidos tanto por PAULETTI (1995), quanto por RAMIREZ e BERENJEL (1984) e por LEE (1971). A justificativa para a não variação dos teores de Al com os tratamentos provavelmente esteja relacionada a mais de um fator; em seguida serão discutidas algumas interferências.

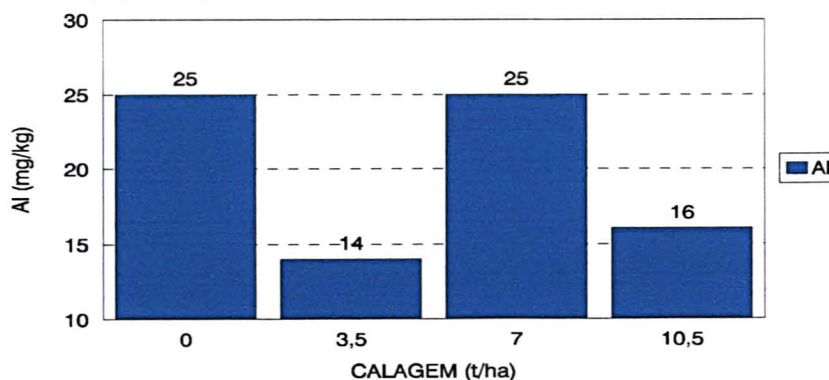
Os resultados demonstram que os teores de alumínio no terço médio das *folhas índices* não respondem claramente aos efeitos externos. É preciso explicar que, neste caso, o efeito externo em estudo não é a neutralização do alumínio ocasionada pela calagem, e sim a própria presença do elemento no solo porque a concentração de alumínio nas *folhas índices* já era inicialmente baixa para a

considerável disponibilidade do elemento no solo, no tratamento sem calagem. Assim, variações nos teores de Al no solo pouco interferiram na concentração do teor médio das *folhas índices*.

Outro fator que pode ter interferido é a questão da alta variabilidade dos dados, problema que causou influências nas análises de diversos nutrientes. Neste caso, a concentração de alumínio das *folhas índices* sofreu interferência menor, porém na avaliação dos dados da segunda etapa, que será em seguida discutida, as consequências foram significativas.

Na análise de correlação, a concentração de alumínio das *folhas índices* apresentou correlação negativa com o rendimento de grãos, com a massa seca foliar e com os teores de Zn (Anexo 1).

FIGURA 33. TEORES DE ALUMÍNIO NAS FOLHAS ÍNDICES CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM.



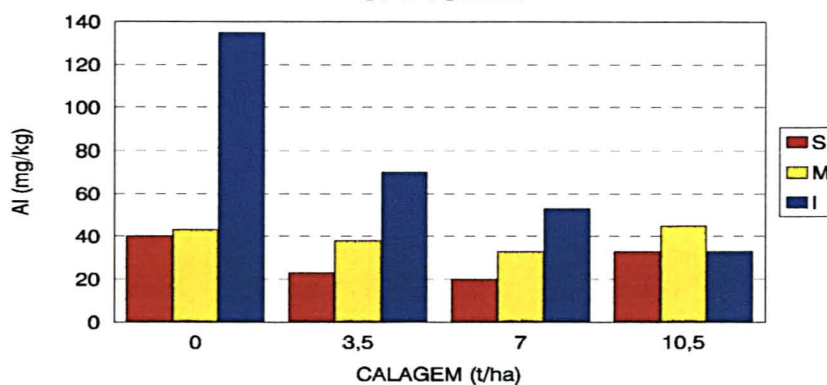
Na segunda etapa de análise dos resultados relativos ao alumínio, a avaliação do comportamento das doses separadamente para os cultivares apresentou resultado significativo somente para o cultivar HS (Anexos 27 e 37 e Figuras 34 e 35).

No cálculo da extração de Al pelas *lâminas foliares*, o Cultivar Cargill apresentou decréscimo de 38% entre o tratamento que recebeu a maior calagem e a testemunha. O cultivar HS teve comportamento ainda mais evidente, porquanto o cálculo da extração de Al na testemunha acusou valores maiores do que o dobro do observado no tratamento que recebeu 10,5 toneladas de calcário por hectare. O resultado demonstra a maior absorção de alumínio nos tratamentos sem calagem, principalmente quando se trata do cultivar sensível.

No solo, a disponibilidade do elemento diminuiu acentuadamente com a calagem (Tabelas 3 e 4), concordando com BUZETTI *et al.* (1991), SHAMSHUDDIN *et al.*(1991) e FIGUERUELO *et al.*(1993).

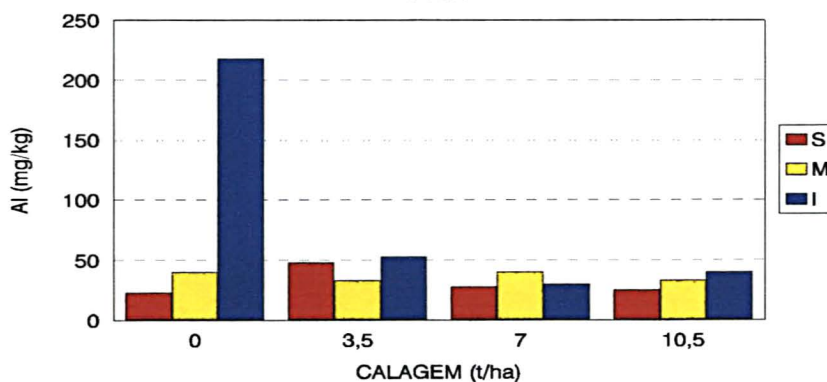
Quanto à influência da posição da folha, não foram observadas diferenças significativas, em que pese a forte tendência de acúmulo nas folhas mais velhas. O resultado estatístico negativo, não diferenciando os tratamentos, seja pela dose de calcário aplicada, seja pela idade da folha, possivelmente está relacionado com a alta variabilidade dos resultados analíticos; gera-se como consequência um intervalo de confiança muito grande, igualando os tratamentos. O fato que é mais interessante, e pode ser observado nas figuras 34 e 35, é o evidente maior acúmulo de Al nas folhas mais velhas no tratamento sem calagem. Tal comportamento se enquadra como recurso utilizado pelas plantas de milho para amenizar o efeito tóxico do Al trocável no solo: acumulam o elemento em tecidos de menor atividade nas folhas mais velhas.

FIGURA 34. TEORES NUTRICIONAIS DE ALUMÍNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR CARGILL.



*As letras S, M e I representam a posição das folhas nas plantas de milho: Respectivamente superior, média e inferior.

FIGURA 35. TEORES NUTRICIONAIS DE ALUMÍNIO CONFORME OS NÍVEIS DE CALAGEM E POSIÇÃO DA FOLHA NO CULTIVAR HS.



*As letras S, M e I representam a posição das folhas nas plantas de milho: Respectivamente superior, média e inferior.

5. CONCLUSÕES

(1) A calagem promove aumento nos teores de magnésio e diminuição nos teores de cobre das *folhas Índices*.

(2) Entre os cultivares avaliados, um considerado tolerante e o outro sensível à presença do alumínio trocável do solo, foram determinadas diferenças significativas em relação a altura da planta.

(3) A calagem proporciona aumento da altura da planta, do diâmetro do colmo e da produção de massa seca foliar.

(4) Na avaliação das *lâminas foliares*, realizada separadamente para os cultivares, detectou-se: no cultivar Cargill, a calagem aumenta a concentração de fósforo, de potássio, de magnésio e zinco; no cultivar HS, diminui os teores de alumínio e aumenta os de magnésio.

(5) Verifica-se, para a época de pleno florescimento: no cultivar Cargill, maior acúmulo de nitrogênio, de fósforo, de potássio e de manganês nas folhas mais novas; o acúmulo é de cálcio, de ferro e magnésio nas folhas mais velhas; no cultivar HS, maior acúmulo de nitrogênio, de fósforo, de zinco e de manganês nas folhas mais novas; o acúmulo é de cálcio, de ferro e magnésio nas folhas mais velhas.

(6) Há interação dos níveis de calagem com a posição da folha para os teores de cálcio no cultivar Cargill e para os teores de ferro no cultivar HS.

(7) Ambos os cultivares assinalam, com relação a quantidade de nutrientes absorvida: aumento nos valores de nitrogênio, de fósforo, de potássio, de cálcio, de magnésio, de zinco, de cobre e de manganês; diminuição nos valores de ferro e alumínio.

(8) Enfim, pode-se confirmar o efeito benéfico da aplicação de calcário e da neutralização do alumínio no desenvolvimento, nas características morfológicas e nos parâmetros nutricionais de plantas de milho.

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1: Matriz de correlação das variáveis resposta.
- ANEXO 2: Extração de nutrientes via foliar em milho (C 525 M).
- ANEXO 3: Extração de nutrientes via foliar em milho (HS 701 B).
- ANEXO 4: ANOVA altura de plantas.
- ANEXO 5: ANOVA diâmetro do colmo.
- ANEXO 6: ANOVA massa seca foliar.
- ANEXO 7: ANOVA produção de grãos.
- ANEXO 8: ANOVA nitrogênio nas folhas índices.
- ANEXO 9: ANOVA fósforo nas folhas índices.
- ANEXO 10: ANOVA potássio nas folhas índices.
- ANEXO 11: ANOVA cálcio nas folhas índices.
- ANEXO 12: ANOVA magnésio nas folhas índices.
- ANEXO 13: ANOVA ferro nas folhas índices.
- ANEXO 14: ANOVA zinco nas folhas índices.
- ANEXO 15: ANOVA cobre nas folhas índices.
- ANEXO 16: ANOVA manganês nas folhas índices.
- ANEXO 17: ANOVA alumínio nas folhas índices.
- ANEXO 18: ANOVA nitrogênio/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 19: ANOVA fósforo/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 20: ANOVA potássio/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 21: ANOVA cálcio/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 22: ANOVA magnésio/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 23: ANOVA ferro/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 24: ANOVA zinco/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 25: ANOVA cobre/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 26: ANOVA manganês/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 27: ANOVA alumínio/HS nas lâminas foliares.
- ANEXO 28: ANOVA nitrogênio/Cargill nas lâminas foliares.
- ANEXO 29: ANOVA fósforo/Cargill nas lâminas foliares.
- ANEXO 30: ANOVA potássio/Cargill nas lâminas foliares.

ANEXO 31: ANOVA cálcio/Cargill nas lâminas foliares.

ANEXO 32: ANOVA magnésio/Cargill nas lâminas foliares.

ANEXO 33: ANOVA ferro/Cargill nas lâminas foliares.

ANEXO 34: ANOVA zinco/Cargill nas lâminas foliares.

ANEXO 35: ANOVA cobre/Cargill nas lâminas foliares.

ANEXO 36: ANOVA manganês/Cargill nas lâminas foliares.

ANEXO 37: ANOVA alumínio/Cargill nas lâminas foliares.

1. TABELA 7: MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS RESPOSTAS

	prod.	P	Mg	N	Ca	K	Cu	Mn	Fe	Zn	Al	d. c.	a. p.	m. s. f.
Prod.	1,00	0,59	0,59	0,50	0,33	-0,28	-0,34	-0,44	0,30	0,34	-0,40	0,71	0,66	0,75
P		1,00	0,42	0,76	0,07	-0,31	-0,11	-0,49	0,12	0,37	-0,18	0,48	0,22	0,54
Mg			1,00	0,14	0,54	-0,52	-0,42	-0,43	0,00	0,57	-0,17	0,41	0,57	0,50
N				1,00	-0,08	0,01	-0,03	-0,38	0,17	0,35	-0,32	0,40	0,06	0,38
Ca					1,00	-0,13	-0,25	-0,07	0,05	0,24	-0,13	0,15	0,15	0,25
K						1,00	0,14	0,49	0,14	-0,33	-0,13	-0,31	-0,36	-0,29
Cu							1,00	0,21	-0,09	-0,26	0,23	-0,31	-0,12	-0,27
Mn								1,00	0,30	-0,20	0,04	-0,37	-0,50	-0,53
Fe									1,00	-0,01	0,09	0,34	0,05	-0,09
Zn										1,00	-0,52	0,42	0,21	0,19
Al											1,00	-0,26	-0,16	-0,42
d. c.												1,00	0,46	0,47
a. p.													1,00	0,58
m. s. f.														1,00

* Prod. = produção; d. c. = diâmetro do colmo; a. p. = altura da planta;
m. s. f. = massa seca foliar.

2. TABELA 8: EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES VIA FOLIAR EM MILHO (C 525 M)

Cargill	Macronutrientes (Kg.ha ⁽⁻¹⁾)					Micronutrientes + Al (g.ha ⁽⁻¹⁾)				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Al
T0	108,28	7,273	108,64	23,92	7,840	887,37	66,990	32,27	337,88	467,20
T1	155,52	13,79	131,02	30,94	19,82	645,88	121,90	37,72	323,02	352,62
T2	144,31	11,41	129,02	42,02	26,72	577,45	113,73	33,28	311,41	263,23
T3	208,44	13,40	137,94	42,31	36,34	794,33	226,54	40,12	410,10	337,68

3. TABELA 9: EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES VIA FOLIAR EM MILHO (HS 701 B)

HS	Macronutrientes (K g.ha ⁽⁻¹⁾)					Micronutrientes + Al (g.ha ⁽⁻¹⁾)				
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Al
T0	117,77	7,220	87,348	24,78	8,056	1026,5	98,185	33,75	249,77	691,67
T1	151,53	9,550	120,39	40,16	25,91	565,47	147,07	40,16	309,25	384,24
T2	169,04	11,22	112,04	41,02	36,40	634,71	164,60	45,64	309,05	294,94
T3	194,94	13,22	113,92	49,14	47,93	701,93	192,09	54,75	258,47	318,19

4. Analysis of Variance for ESTATIN.Altura da planta - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	3.3717125	3	1.1239042	79.70(1)	0.0000
B:ESTHS.CULTIVAR	0.4465125	1	0.4465125	66.43(2)	0.0039
C:ESTHS.BLOCO	0.1515625	3	0.0505208		
INTERACTIONS					
AB	0.0868625	3	0.0289542	0.52(0)	0.6740
AC	0.1269125	9	0.0141014		
BC	0.2016125	3	0.0067208		
RESIDUAL	0.4933625	9	0.0548181		
TOTAL (CORRECTED)	4.6970875	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

5. Analysis of Variance for ESTATIN.Diâmetro do colmo - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	0.6075594	3	0.2025198	21.49(1)	0.0002
B:ESTHS.CULTIVAR	0.0225781	1	0.0225781	0.48(2)	0.5440
C:ESTHS.BLOCO	0.0548594	3	0.0182865		
INTERACTIONS					
AB	0.0628844	3	0.0209615	1.11(0)	0.3925
AC	0.0847781	9	0.0094198		
BC	0.1402844	3	0.0467615		
RESIDUAL	0.1402844	3	0.0467615		
TOTAL (CORRECTED)	1.1419469	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

6. Analysis of Variance for ESTATIN.Massa foliar - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	4249.8438	3	1416.6146	5.57(1)	0.0193
B:ESTHS.CULTIVAR	148.7813	1	148.7813	1.42(2)	0.3185
C:ESTHS.BLOCO	118.0938	3	39.3646		
INTERACTIONS					
AB	172.5938	3	57.53125	0.98(0)	0.4409
AC	2285.5313	9	253.94792		
BC	313.3438	3	104.44792		
RESIDUAL	523.78125	9	58.197917		
TOTAL (CORRECTED)	7811.9688	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

7. Analysis of Variance for 1/SIN ESTATIN.Produção de grãos - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	9.7925828	3	3.2641943	0.35(1)	0.7899
B:ESTHS.CULTIVAR	1.5087983	1	1.5087983	0.21(2)	0.6806
C:ESTHS.BLOCO	3.7535752	3	1.2511917		
INTERACTIONS					
AB	29.222673	3	9.7408911	1.40(0)	0.3050
AC	83.816324	9	9.3129249		
BC	21.282227	3	7.0940755		
RESIDUAL	62.609644	9	6.9566271		
TOTAL (CORRECTED)	211.98582	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

8. Analysis of Variance for ESTATIN.N - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	23.842500	3	7.947500	1.50(1)	0.2788
B:ESTHS.CULTIVAR	30.031250	1	30.031250	2.43(2)	0.2163
C:ESTHS.BLOCO	33.792500	3	11.264167		
INTERACTIONS					
AB	10.901250	3	3.633750	1.34(0)	0.3210
AC	47.565000	9	5.285000		
BC	36.951250	3	12.317083		
RESIDUAL	24.376250	9	2.7084722		
TOTAL (CORRECTED)	207.46000	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

9. Analysis of Variance for ESTATIN.P - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	0.8284375	3	0.2761458	2.02(1)	0.1805
B:ESTHS.CULTIVAR	0.1378125	1	0.1378125	0.55(2)	0.5173
C:ESTHS.BLOCO	0.2209375	3	0.0736458		
INTERACTIONS					
AB	0.2659375	3	0.0886458	1.63(0)	0.2492
AC	1.2253125	9	0.1361458		
BC	0.7434375	3	0.2478125		
RESIDUAL	0.4878125	9	0.0542014		
TOTAL (CORRECTED)	3.9096875	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

10. Analysis of Variance for ESTATIN.K - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	84.593750	3	28.197917	3.04(1)	0.0849
B:ESTHS.CULTIVAR	47.531250	1	47.531250	3.60(2)	0.1540
C:ESTHS.BLOCO	27.343750	3	9.114583		
INTERACTIONS					
AB	12.843750	3	4.281250	1.14(0)	0.3811
AC	83.281250	9	9.253472		
BC	39.593750	3	13.197917		
RESIDUAL	33.531250	9	3.7256944		
TOTAL (CORRECTED)	328.71875	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

11. Analysis of Variance for ESTATIN.Ca - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	7.3675000	3	2.4558333	2.10(1)	0.1704
B:ESTHS.CULTIVAR	1.2800000	1	1.2800000	2.88(2)	0.1882
C:ESTHS.BLOCO	6.6625000	3	2.2208333		
INTERACTIONS					
AB	1.372500	3	0.4575000	0.69(0)	0.5780
AC	10.520000	9	1.1688889		
BC	1.332500	3	0.4441667		
RESIDUAL	5.9250000	9	0.6583333		
TOTAL (CORRECTED)	34.460000	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

12. Analysis of Variance for ESTATIN.Mg - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	24.775937	3	8.2586458	20.70(1)	0.0002
B:ESTHS.CULTIVAR	0.002813	1	0.0028125	0.00(2)	0.9549
C:ESTHS.BLOCO	0.535937	3	0.1786458		
INTERACTIONS					
AB	5.7659375	3	1.9219792	3.38	0.0676
AC	3.5903125	9	0.3989236		
BC	2.1089375	3	0.7269792		
RESIDUAL	5.1053125	9	0.5672569		
TOTAL (CORRECTED)	41.957188	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

13. Analysis of Variance for sin ESTATIN.Fe - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	2.3426848	3	0.7808949	2.34(1)	0.1411
B:ESTHS.CULTIVAR	0.025601	1	0.0258601	0.24(2)	0.6599
C:ESTHS.BLOCO	2.9134874	3	0.9711625		
INTERACTIONS					
AB	0.2201167	3	0.0733722	0.18(0)	0.9033
AC	2.9979825	9	0.3331092		
BC	0.3175786	3	0.1058595		
RESIDUAL	3.5520938	9	0.3946771		
TOTAL (CORRECTED)	12.369804	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

14. Analysis of Variance for sin ESTATIN.Zn - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	1.4560041	3	0.4853347	0.95(1)	0.4556
B:ESTHS.CULTIVAR	0.7779801	1	0.7779801	1.55(2)	0.3013
C:ESTHS.BLOCO	0.8526528	3	0.2842176		
INTERACTIONS					
AB	1.6418855	3	0.5472952	1.00(0)	0.4361
AC	4.5852451	9	0.5094717		
BC	1.5040795	3	0.5013698		
RESIDUAL	4.9231615	9	0.5470179		
TOTAL (CORRECTED)	15.741009	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

15. Analysis of Variance for ESTATIN.CU - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	24.2500000	3	8.0833333	4.40(1)	0.0361
B:ESTHS.CULTIVAR	2.0000000	1	2.0000000	1.84(2)	0.2674
C:ESTHS.BLOCO	14.7500000	3	4.9166667		
INTERACTIONS					
AB	4.2500000	3	1.4166667	0.33(0)	0.8032
AC	16.5000000	9	1.8333333		
BC	3.2500000	3	1.0833333		
RESIDUAL	38.5000000	9	4.2777778		
TOTAL (CORRECTED)	103.500000	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

16. Analysis of Variance for ESTATIN.Mn - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	1009.7500	3	336.58333	3.21(1)	0.0757
B:ESTHS.CULTIVAR	36.1250	1	36.12500	0.60(2)	0.4999
C:ESTHS.BLOCO	360.7500	3	120.25000		
INTERACTIONS					
AB	128062500	3	42.87500	1.94(0)	0.1925
AC	942.000000	9	104.66667		
BC	178.125000	3	59.37500		
RESIDUAL	198	9	22.013889		
TOTAL (CORRECTED)	125000	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

17. Analysis of Variance for ESTATIN.AI - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	795.8438	3	265.28125	2.09(1)	0.1707
B:ESTHS.FOLHA	57.7816	1	57.78125	0.54(2)	0.5213
C:ESTHS.BLOCO	110.8483	3	37.028125		
INTERACTIONS					
AB	68.3438	3	22.78125	0.20(0)	0.8904
AC	1137.5313	9	126.39236		
BC	318.3438	3	106.11458		
RESIDUAL	1000.0313	9	111.11458		
TOTAL (CORRECTED)	4488.7188	31			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

18. Analysis of Variance for ESTHS.N - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	4744.500	3	1581.500	1.26(1)	0.3426
B:ESTHS.FOLHA	22402.625	2	11201.313	9.93(2)	0.0125
C:ESTHS.BLOCO	3448.667	3	1149.556		
INTERACTIONS					
AB	5187.375	6	864.5625	1.22(0)	0.3384
AC	11224.833	9	1247.2037		
BC	6764.208	6	1127.3681		
RESIDUAL	12685.792	18	704.76620		
TOTAL (CORRECTED)	66458.000	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

19. Analysis of Variance for ESTHS.P - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	63.56250	3	21.187500	2.20(1)	0.1572
B:ESTHS.FOLHA	138.66667	2	69.333333	312.00(2)	0.0000
C:ESTHS.BLOCO	72.72917	3	24.243056		
INTERACTIONS					
AB	56.000000	6	9.3333333	1.98(0)	0.1215
AC	86.520833	9	9.6134259		
BC	1.333333	6	0.2222222		
RESIDUAL	84.666667	18	4.7037037		
TOTAL (CORRECTED)	503.47917	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

20. Analysis of Variance for ESTHS.K - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	30.062500	3	10.020833	1.33(1)	0.3227
B:ESTHS.FOLHA	20.166667	2	10.083333	2.26(2)	0.1846
C:ESTHS.BLOCO	5.395833	3	1.798611		
INTERACTIONS					
AB	72.000000	6	12.000000	2.13(0)	0.0993
AC	67.520833	9	7.502315		
BC	26.666667	6	4.444444		
RESIDUAL	101.16667	18	5.6203704		
TOTAL (CORRECTED)	322.97917	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

21. Analysis of Variance for ESTHS.CA - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	1257.4167	3	419.13889	0.96(1)	0.4525
B:ESTHS.FOLHA	969.0417	2	484.52083	6.09(2)	0.0359
C:ESTHS.BLOCO	1066.7500	3	355.58333		
INTERACTIONS					
AB	604.9583	6	100.82639	0.50(0)	0.8000
AC	3929.0833	9	436.56481		
BC	477.1250	6	79.52083		
RESIDUAL	3627.5417	18	201.53009		
TOTAL (CORRECTED)	11931.917	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

22. Analysis of Variance for log ESTHS.MG - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	13.984591	3	4.6615303	31.16(1)	0.0000
B:ESTHS.FOLHA	0.518390	2	0.2591950	9.24(2)	0.0147
C:ESTHS.BLOCO	0.323442	3	0.1078140		
INTERACTIONS					
AB	0.5367981	6	0.0894664	2.35(0)	0.0745
AC	1.3460962	9	0.1495662		
BC	0.1683006	6	0.0280501		
RESIDUAL	0.6846780	18	0.0380377		
TOTAL (CORRECTED)	17.562296	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

23. Analysis of Variance for sin 1/ESTHS.FE - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	1.54026E-4	3	5.13419E-5	3.39(1)	0.0674
B:ESTHS.FOLHA	2.52818E-4	2	1.26409E-4	29.39(2)	0.0008
C:ESTHS.BLOCO	3.35676E-5	3	1.11892E-5		
INTERACTIONS					
AB	3.28564E-4	6	5.47607E-5	6.56(0)	0.0008
AC	1.36198E-4	9	1.51331E-5		
BC	2.58010E-5	6	4.30017E-6		
RESIDUAL	1.50208E-4	18	8.34489E-6		
TOTAL (CORRECTED)	0.0010812	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

24. Analysis of Variance for ESTHS.ZN - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	151.56250	3	50.52083	2.51(1)	0.1244
B:ESTHS.FOLHA	458.04167	2	229.02083	35.42(2)	0.0005
C:ESTHS.BLOCO	31.89583	3	10.63194		
INTERACTIONS					
AB	77.12500	6	12.854167	1.02(0)	0.4417
AC	181.02083	9	20.113426		
BC	38.79167	6	6.465278		
RESIDUAL	226.04167	18	12.557870		
TOTAL (CORRECTED)	1164.4792	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

25. Analysis of Variance for ESTHS.CU - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	6.083333	3	2.0277778	1.17(1)	0.3736
B:ESTHS.FOLHA	16.791667	2	8.3958333	2.06(2)	0.2076
C:ESTHS.BLOCO	6.250000	3	2.0833333		
INTERACTIONS					
AB	23.041667	6	3.8402778	1.08(0)	0.4087
AC	15.583333	9	1.7314815		
BC	24.37500	0	6	4.0625000	
RESIDUAL	63.791667	18	3.5439815		
TOTAL (CORRECTED)	155.91667	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

26. Analysis of Variance for ESTHS.MN - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	867.0000	3	289.00000	2.97(1)	0.0890
B:ESTHS.FOLHA	1016.0000	2	508.00000	6.38(2)	0.0327
C:ESTHS.BLOCO	17.1667	3	5.72222		
INTERACTIONS					
AB	278.00000	6	46.333333	0.58(0)	0.7360
AC	873.16667	9	97.018519		
BC	477.33333	6	79.555556		
RESIDUAL	1419.3333	18	78.851852		
TOTAL (CORRECTED)	4948.0000	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

27. Analysis of Variance for sin 1/ESTHS.AL - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTHS.DOSES	0.0022613	3	0.0007538	4.03(1)	0.0450
B:ESTHS.FOLHA	0.0041872	2	0.0020936	2.42(2)	0.1691
C:ESTHS.BLOCO	0.0038295	3	0.0012765		
INTERACTIONS					
AB	0.0056526	6	9.42101E-4	1.05(0)	0.4247
AC	0.0016813	9	1.86807E-4		
BC	0.0051803	6	8.63386E-4		
RESIDUAL	0.0160905	18	8.93917E-4		
TOTAL (CORRECTED)	0.0388827	47			

0 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

28. Analysis of Variance for sin ESTCAR.N^1/2 - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	2.4570782	3	0.8190261	1.17(1)	0.3741
B:ESTCAR.FOLHA	8.4204761	2	4.2102380	9.50(2)	0.0138
C:ESTCAR.BLOCO	0.4156621	3	0.1385540		
INTERACTIONS					
AB	0.5936056	6	0.0989343	0.44(0)	0.8384
AC	6.3027490	9	0.7003054		
BC	2.6577726	6	0.4429621		
RESIDUAL	3.7771099	17	0.2221829		
TOTAL (CORRECTED)	25.477417	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

29. Analysis of Variance for ESTCAR. P - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	280.85334	3	93.617780	7.10(1)	0.0095
B:ESTCAR.FOLHA	106.34421	2	53.172106	16.90(2)	0.0034
C:ESTCAR.BLOCO	42.18667	3	14.062224		
INTERACTIONS					
AB	80.41782	6	13.402971	1.87(0)	0.1445
AC	118.57755	9	13.175283		
BC	18.87616	6	3.146026		
RESIDUAL	121.73495	17	7.1608796		
TOTAL (CORRECTED)	775.82979	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

30. Analysis of Variance for log ESTCAR.K^1/2 - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	0.0497675	3	0.0165892	6.72(1)	0.0113
B:ESTCAR.FOLHA	0.0753761	2	0.0376881	50.06(2)	0.0002
C:ESTCAR.BLOCO	0.0000269	3	0.0000090		
INTERACTIONS					
AB	0.0306557	6	0.0051093	1.68(0)	0.1860
AC	0.0222145	9	0.0024683		
BC	0.0045163	6	0.0007527		
RESIDUAL	0.0516387	17	0.0030376		
TOTAL (CORRECTED)	0.2422218	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

31. Analysis of Variance for ESTCAR.CA - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	946.9074	3	315.6358	4.30(1)	0.0383
B:ESTCAR.FOLHA	2236.0019	2	1118.0009	9.38(2)	0.0142
C:ESTCAR.BLOCO	831.6217	3	277.2072		
INTERACTIONS					
AB	5270.5046	6	878.41744	4.57(0)	0.0061
AC	659.4074	9	73.26749		
BC	715.0185	6	119.16975		
RESIDUAL	3266.1481	17	192.12636		
TOTAL (CORRECTED)	13889.702	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

32. Analysis of Variance for ESTCAR.MG^{1/2} - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	75.342286	3	25.114095	7.67(1)	0.0000
B:ESTCAR.FOLHA	25.747705	2	12.873852	24.75(2)	0.0013
C:ESTCAR.BLOCO	0.062143	3	0.020714		
INTERACTIONS					
AB	4.2144971	6	0.7024162	2.66(0)	0.0520
AC	3.3400728	9	0.3711192		
BC	3.1199371	6	0.5199895		
RESIDUAL	4.4779227	17	0.2634072		
TOTAL (CORRECTED)	117.08933	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

33. Analysis of Variance for sin ESTCAR.FE^{1/2} - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	0.6970020	3	0.2323340	0.53(1)	0.6681
B:ESTCAR.FOLHA	3.0284060	2	1.5142030	8.16(2)	0.0194
C:ESTCAR.BLOCO	0.3307601	3	0.1102534		
INTERACTIONS					
AB	1.5684551	6	0.2614092	0.66(0)	0.6820
AC	3.8876040	9	0.4319560		
BC	1.1128706	6	0.1854784		
RESIDUAL	6.7260011	17	0.3956471		
TOTAL (CORRECTED)	17.483674	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

34. Analysis of Variance for sin ESTCAR.ZN^{1/2} - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	1.8147142	3	0.6049047	6.33(1)	0.0134
B:ESTCAR.FOLHA	1.0227550	2	0.5113775	1.85(2)	0.2355
C:ESTCAR.BLOCO	0.0269183	3	0.0089728		
INTERACTIONS					
AB	0.9555314	6	0.1592552	1.14(0)	0.3787
AC	0.8595276	9	0.0955031		
BC	1.6514096	6	0.2752349		
RESIDUAL	2.3618412	17	0.1389318		
TOTAL (CORRECTED)	8.6698583	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

35. Analysis of Variance for sin 1/ESTCAR.CU^{1/2} - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	0.0037072	3	0.0012357	0.19(1)	0.8945
B:ESTCAR.FOLHA	0.0153895	2	0.0076948	4.42(2)	0.0660
C:ESTCAR.BLOCO	0.0084541	3	0.0028180		
INTERACTIONS					
AB	0.0207421	6	0.0034570	1.89(0)	0.1402
AC	0.0559078	9	0.0062120		
BC	0.0104348	6	0.0017391		
RESIDUAL	0.0310170	17	0.0018245		
TOTAL (CORRECTED)	0.1452433	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

36. Analysis of Variance for 1/ESTCAR.MN - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	4.02831E-4	3	1.34277E-4	3.26(1)	0.0733
B:ESTCAR.FOLHA	5.34456E-4	2	2.67228E-4	24.37(2)	0.0013
C:ESTCAR.BLOCO	7.41525E-5	3	2.47175E-5		
INTERACTIONS					
AB	8.37525E-5	6	1.39587E-5	0.80(0)	0.5768
AC	3.70288E-4	9	4.11431E-5		
BC	6.57866E-5	6	1.09644E-5		
RESIDUAL	2.93194E-4	17	1.72467E-5		
TOTAL (CORRECTED)	0.0019033	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

37. Analysis of Variance for log 1/ESTCAR.AL^2 - Type III Sums of Squares

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
MAIN EFFECTS					
A:ESTCAR.DOSES	20.058683	3	6.686228	2.41(1)	0.1335
B:ESTCAR.FOLHA	24.832235	2	12.416118	3.34(2)	0.1057
C:ESTCAR.BLOCO	15.151136	3	5.050379		
INTERACTIONS					
AB	10.725033	6	1.7875055	0.67(0)	0.6736
AC	24.893618	9	2.7659575		
BC	22.276093	6	3.7126821		
RESIDUAL	45.202272	17	2.6589572		
TOTAL (CORRECTED)	165.74453	46			

1 missing values have been excluded.

F-ratios are based on the following mean squares:

(0)RESIDUAL / (1)AC / (2)BC

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, I. O. Reservas brasileiras de calcário. SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS (1984: Piracicaba). **Seminário...**, Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- ALVES, V. M. C. ; NOVAIS, R. F. ; NEVES, J. C. L. ; BARRO, N. F. Efeito do alumínio sobre absorção e translocação do fósforo e sobre a composição mineral de dois cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.6, p.563-573, 1988.
- ANDRADE, A. G. ; HAAG, H. P. ; OLIVEIRA, G. D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. Acumulação de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.32, p.115-149, 1975(a).
- ANDRADE, A. G. ; HAAG, H. P. ; OLIVEIRA, G. D. ; SARRUGE, J. R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) III . Acumulação de macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.32, p.115-149, 1975(b).
- ASCHE, N. Elementgehalte von Buchenblättern auf ausgewählten Kalkversuchsflächen. **Allgemeine Forst Zeitschrift**, Rocklinshausen, v.49, n.14, p.792-794, 1994.
- ASSMANN, T. S. Influência da aplicação do calcário irati (São Mateus do Sul - PR) nos Teores de S, Cu, Fe, Mn, Zn no solo e na planta de milho (*Zea mays* L.). **Dissertação de Mestrado**. Dpto de Solos , SCA, UFPR, 1995, 86p.
- BENNET, R. J. ; BREEN, C. M. The aluminium signal: New dimensions to the mechanisms of aluminium tolerance. **Plant and Soil**, v.134, p.153-166, 1991.
- BRITTO, D. P. P. S. ; CASTRO, A. F. ; MENDES, W. ; JACCOUD, A. ; RAMOS, D. P. ; COSTA, F. A. Estudo das reações a micronutrientes em latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.6, p.17-22, 1971.
- BUZETTI, S. ; MURAOKA, T. ; MAURO, O. M. Doses de zinco em diferentes condições de acidez de um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.6, p.913-918, 1991.
- CAIRES, E. F. ; ROSOLEM, C. A. Calagem em genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.193-202, 1993(a).
- CAIRES, E. F. ; ROSOLEM, C. A. Efeitos da calagem na nutrição mineral do amendoim. Cálcio. **Científica**, São Paulo, v.21, n.1, p.179-188, 1993(b).
- CAMARGO, O. A. ; FURLANI, P. R. Alumínio no solo: concentração, especiação e efeito do desenvolvimento radicular. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS (2.: 1989: Piracicaba). **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.45-49.
- CAMARGO, O. A. ; VALADARES, J. M. A. S. ; DECHEN, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração de manganês, zinco, cobre e ferro dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, n.1, p.83-88, 1982.

- CAMBRAIA, J. ; CAMBRAIA, M. C. Avaliação de híbridos de milho quanto à tolerância ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.241, p.297-307, 1995.
- CAMBRAIA, J. ; LEMOS FILHO, J. P. ; ESTEVÃO, M. M. ; OLIVIA, M. A. Efeito do alumínio sobre os teores de Mg, Fe, Mn e Cu em sorgo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.30, n.167, p.45-54, 1983(a).
- CAMBRAIA, J. ; LEMOS FILHO, J. P. ; OLIVIA, M. A. ; ESTEVÃO, M. M. Efeito do alumínio sobre a fotossíntese em dois cultivares de sorgo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.30, n.167, p.55-62, 1983(b).
- CARY, E. E. ; NORVELL, W. A. ; GRUNES, D. L. ; WELCH, R. M. ; REID, W. S. Iron and Manganese Accumulation by the *brz* Pea Mutant Grown in Soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, n.1, p.938-941, 1994.
- CASTILHOS, D. D. ; ANGHINONI, I. Influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular sobre o comportamento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.3, p.263-267, 1988.
- CERETTA, C. A. ; AITA, C. ; BRAIDA, J. A. ; PAUINATO, A. ; SALET, R. L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas na primavera para o milho em sucessão nos sistemas de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.215-220, 1994.
- CHAVES, J. C. D. ; PAVAN, M. A. ; MIYAZAWA, M. Especificação química da solução do solo para interpretação da absorção do cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.3, p.447-453, 1991.
- COLEMAN, N. T. ; WEED, S. B. ; McCRAKCKEN, R. J. Cation Exchange capacity and Exchangeable cations in piedmont soils of North Carolina. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.23, p.146-149, 1959.
- COMIN, J.J. Incidences de la toxicité aluminique sur la morphologie racinaire, la production de biomasse et quelques aspects physiologiques chez le maïs (*Zea mays* L.). **Tese de Doutorado**. Laboratoire des Sciences du Végétal, Département de Sciences Biologiques et Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 1996, 154p.
- EMBRAPA. SNLCS, **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1979.
- ERNANI, P. R. ; GIANELLO, C. Efeito imediato e residual de materiais orgânicos, adubo mineral e calcário no rendimento vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, n.2, p.119-124, 1982.
- FARINA, M. P. W. ; CHANNON, P. A field comparison of lime requirement indices for maize. **Plant and Soil**, v.134, p.127-135, 1991.
- FIGUERUELO, E. ; GUTIÉRREZ, F. ; TRUJILLO, I. Effects of lime and phosphate amendments on Alfisols of the Canary Islands. **Tropical Agriculture**, Ann Arbor, v.70, n.2, p.116-119, 1993
- FORESTIERI, E. F. ; DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e da mucuna-preta num podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.2, p.167-172, 1990.

- FORNASIERI FILHO, D. ; COUTINHO, E. L. M. ; VIEIRA, W. M. ; LEMOS, L. B. Resposta do milho-pipoca (*Zea mais* L.) à adubação com fósforo e com zinco. **Científica**, São Paulo, v.22, n.2, p.205-215, 1994.
- FOY, C. D. Plant Adaptation to Acid-Aluminum-Toxic-Soils. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, n.7-12, p.959-987, 1988.
- FOY, C. D. ; FLEMING, A. L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils. In: JUN, G. A. (ed.). **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1978. p.301-343. (Special Publication; n.32)
- FRÁGUAS, J. C. Efeito do alumínio no comprimento de raízes e na absorção de fósforo e cálcio, em porta-enxertos de videira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.251-255, 1993.
- FRÁGUAS, J. C. ; AMARAL, F. A. L. ; BRAGA, J. M. ; CARDOSO, A. A. Tolerância de porta-enxertos de videira (*vitís* spp.) à saturação de alumínio. **Revista Ceres**, Viçosa, v.36, n.203, p.13-26, 1989.
- FURLANI, A. M. C. ; BATAGLIA, O. C. ; LIMA, M. Crescimento diferencial de linhagens de milho em solução nutritiva com baixo nível de potássio. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.303-316, 1986(a).
- FURLANI, P. R. ; HANNA, L. G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.2, p.205-208, 1984.
- FURLANI, P. R. ; LIMA, M. ; MIRANDA, L. T. ; MIRANDA, L. E. C. ; SAWASAKI, E. ; MAGNAVACA, R. Avaliação de linhagens, materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.6, p.655-660, 1986(b).
- FURLANI, P. R. ; HIROCE, R. ; BATAGLIA, O. C. Acúmulo de macronutrientes, de silício e de matéria seca por dois híbridos simples de milho. **Bragantia**, Campinas, v.36, p.223-229, 1977.
- GALLO, J. R. ; HIROCE, R. ; MIRANDA, L. T. Análise foliar na nutrição do milho. II. Resultado de ensaios de adubação com N-P-K-S e micronutrientes. **Bragantia**, Campinas, v.24, p.75-78, 1965.
- GALRÃO, E. Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.229-233, 1994.
- GALRÃO, E. Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em latossolo vermelho-amarelo, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.255-260, 1995.
- GALVEZ, L. ; CLARK, R. B. Nitrate and ammonium uptake and solution pH changes for Al-tolerant and Al-sensitive sorghum (*sorghum bicolor*) genotypes grown with and without aluminium. **Plant and Soil**, v.134, p.179-188, 1991.

- GUILHERME, L. R. G. ; CURI, N. ; GUEDES, G. A. A. Calagem e disponibilidade de fósforo para o arroz irrigado cultivado em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.341-347, 1989.
- HAIRIAH, K. ; NOORDWIJK, M. Van ; SETIJONO, S. Tolerance to acid soil conditions of the velvet beans *Mucuna pruriens* var. *utilis* and *M. deeringiana*. **Plant and Soil**, v.134, p.95-105, 1991.
- HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba: UFPR, 1977, 225p.
- IAPAR, Fundação Instituto Agrônomo do Paraná. **A Cultura do Milho no Paraná**, Londrina, 1991. 270p.
- IAPAR, Fundação Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**, Londrina, 1984. 45p.
- KAMPRATH, E. J. ; FOY, C. D. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In: OLSON, R. A. ; ARMY, T. J. ; HANWAY, J. J. ; KILMER, V. J. **Fertilizer technology and use**, Madison: Soil Science Society of America, 1971. p.105-151.
- KARLEN, D. L. ; FLANNERU, R. L. ; SADLER, E. J. Aerial Accumulation and Partitioning of Nutrients by Corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.2, p.232-242, 1988.
- KLEPKER, D. ; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v.19, n.3, p.403-408, 1995.
- KORNDÖRFER, G. H. ; EIMORI, I. E. ; TELLECHEA, M. C. R. Efeito de técnicas de adição do zinco a fertilizantes granulados da produção de matéria seca do milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.11, n.3, p.329-332, 1987.
- KORNELIUS, E. ; RITCHEY, K. D. Comportamento da alfafa em diferentes níveis de acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.241-246, 1992.
- KOVACEVIC, V. ; BRKIC, I. ; VUJEVIC, S. Corn (*Zea mays* L.) hybrids and their inbred lines tolerance to acid soil and high soluble-aluminum contents. **Faculty of Agriculture and Agricultural Institute**, Osijek, Croatia (s. d.).
- LASSEIGNE, F. T. ; SMALLEY, T. J. ; MILLS, H. A. ; MILLER, W. P. Aluminum tolerance, mineral nutrition, and growth of "helleri"holly in solution. **Journal of Plant Nutrition**, 19(12) 1551-1567 1996.
- LEE, C. R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, n.4-6, p.604-608, 1971.
- LEE, C. R. Interrelationships of aluminum and manganese on the potato plant. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, n.4-6, p.546-549, 1972.
- LIM, K. L. ; SHEN, T. C. Lime and P applications and their residual effects on corn yields. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.4-6, p.927-932, 1978.

- LINS, I. D. G. ; COX , F. R. Effect of soil pH and clay content on the zinc soil test interpretation for corn. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.52, n.6, p.1681-1685, 1988.
- LUNGU, O. I. ; TEMBA, J. ; CHIRWA, B. ; LUNGU, C. Effects of lime and farmyard manure on soil acidity and maize growth on an acid Alfisol from Zambia. **Tropical Agriculture**, Ann Arbor, v.70, n.4, p.309-914, 1993.
- LUTZ, A. J. Jr. ; GENTER, C. F. ; HAWKINS, G. W. Effect of soil pH concentration and uptake by maize: I. P, K, Ca, Mg, and Na. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, n.4-6, p.581-583, 1972(a).
- LUTZ, A. J. Jr. ; GENTER, C. F. ; HAWKINS, G. W. Effect of soil pH concentration and uptake by maize: II. Cu, B, Zn, Mo, Al, and Fe. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, n.4-6, p.583-585, 1972(b).
- MACHADO, P. L. O. de A. ; GERZABEK, M. H. Soil aluminum extraction methods in relation to plant aluminum and yield on Austrian and Brazilian soils. **Soil Science plant Analysis**, New Brunswick, v.24, n.19/20, p.2661-2677, 1993.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubações**, 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981, 607p.
- MALAVOLTA, E. ; VITTI, G. C. ; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARCANO, F. ; OHEP, C. ; FRANCISCO, D. Efecto de la labranza y del nitrogenio en algunos componentes del rendimiento, macroporosidad del suelo, densidad radical y producción del maíz (*Zea mays* L.). **Agronomía Tropical**, Maracay, v.44, n.1, p.5-22, 1994.
- MARION, G. M. ; HENDRICKS, D. M. ; DUTT, G. R. ; FULLER, W. H. Aluminum and Silica Solubility in Soils. **Soil Science**, Baltimore, v.121, p.76-85, 1976.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Institute of plant nutrition, Hohenheim: University Hohenheim, 1985 674p.
- MARTINEZ, H. E. P. ; ATHAYDE, M. L. F. ; BRUCKNER, C. H. Milho em duas profundidades de incorporação de calcário e superfosfato. **Revista Ceres**, Viçosa, v.35, n.198, p.145-162, 1988.
- MASCARENHAS, H. A. A. ; BATAGLIA, O. C. ; QUAGGIO, J. A. ; GALLO, P. B. Zinco nas folhas de soja em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v.47, n.1, p.137-142, 1988.
- MASCARENHAS, H. A. A. ; GALLO, J. R. ; RAIJ, B. Van ; IGUE, T. ; BATAGLIA, O. C. Efeitos da calagem nas características químicas do solo e na nutrição de soja em latossolo roxo distrófico de Cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.24, p.273-278, 1976.
- MELGAR, R. J. ; SMYTH, T. J. ; CRAVO, M. S. ; SANCHEZ, P. A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em latossolo da Amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.289-296, 1991.

- MELLO, F. A. F. ; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. ; ARZOLLA, S. ; NETTO, A. C. ; SILVEIRA, R. I. **Fertilidade do solo**. 3 ed. Piracicaba: Nobel, 1987. 440p.
- MELLO, F. A. F. Origem, natureza e componentes da acidez do solo: critérios para calagem. SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS (1984: Piracicaba). **Seminário...**, Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- MELLO, F. A. F. ; ARZOLLA, S. ; KIEHL, J. C. ; BRITO NETO, J. Efeito de doses e modos de aplicação de uréia na produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.3, p.269-274, 1988.
- MELO FILHO, J. F. ; SILVA, J. R. C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um podzólico vermelho-amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.291-297, 1993.
- MELO, V. F. ; GOMES, P. C. ; GUIMARÃES, J. G. ; ALVAREZ V., T. G. Produção de matéria seca de plantas de milho (*Zea mays* L.) pela localização e época de aplicação de fosfato parcialmente acidulado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.41, n.238, p.676-687, 1994.
- MENDONÇA, E. S. ; ROWELL, D. L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um latossolo argiloso sob cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.295-303, 1994.
- MENGEL, K. ; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: Intern. Potash Institute, Switzerland, 687p, 1987.
- MIRANDA, M. A. C. ; MASCARENHAS, H. A. A. ; BATAGLIA, O. C. ; BULISANI, E. A. Soja: Queima das folhas como critério de seleção para resistência à acidez do solo. **Bragantia**, v.47, n.1, p.43-54, 1988.
- MIYAZAWA, M. ; CHIERICE, G. O. ; PAVAN, M. A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.209-215, 1992.
- MORELLI, J. L. ; DALBEM, A. E. ; ALMEIDA, J. O. C. ; DEMATTÊ, J. L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.2, p.187-194, 1992.
- MUCHOVEJ, R. M. C. ; BORGES, A. C. ; NOVAIS, R. F. Mineral nutrient composition of soybean grown in acid soil as affected by rate and Ca:Mg ration of the liming material. **Revista Ceres**, Viçosa, v.40, n.228, p.162-175, 1993.
- NOBLE, A. D. ; FEY, M. V. ; SUMNER, M. E. Calcium-aluminum balance and growth of soybean roots in nutrient solutions. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.52, n.6, p.1651-1656, 1988.
- OKALEBO, J. R. ; PROBERT, M. E. ; LEKASI, J. K. The effect of phosphate placement on maize in eastern Kenya. **Tropical Agriculture**, Ann Arbor, v.71, n.4, p.266-271, 1994.
- PASSO, R. R. ; RUIZ, H. A. Tolerância dos cafeeiros Conilon e Catuaí à toxidez causada pelo Alumínio e Manganês. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.239, p.45-54, 1995.

- PAULETTI, V. Avaliação nutricional de dois cultivares de milho (*Zea mays* L) sob diferentes níveis de alumínio no solo. **Dissertação de Mestrado**. Dpto de Solos, SCA, UFPR, 1995, 80p.
- PIHA, M. I. Yield potential, fertility requirements, and drought tolerance of grain amaranth compared with maize under zimbabwean conditions. **Tropical Agriculture**, Ann Arbor, v.72, n.1, p.7-12, 1995.
- PIONKE, H. B. ; COREY, R. B. Relations between acidic aluminum and soil pH, clay and organic matter. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.31, p.749-752. 1967.
- QUAGGIO, J. A. Resposta das culturas à calagem. SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS (1984: Piracicaba). **Seminário...**, Campinas: Fundação Cargill, 1985.
- QUAGGIO, J. A. ; RAIJ, B. Van ; GALLO, P. B. ; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.375-383, 1993.
- QUAGGIO, J. A. ; SAKAI, M. ; ISHIMURA, I. ; SAES, L. A. ; BATAGLIA, O. C. Calagem para a rotação feijão-milho verde em solo orgânico do Vale do Rio Ribeira do Iguape (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.255-261, 1985.
- RAIJ, B. Van. **Gesso agrícola na maioria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1988. 88p.
- RAIJ, B. Van ; CAMARGO, A. P. ; CANTARELLA, H. ; SILVA, N. M. Alumínio trocável e saturação de bases como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, Campinas, v.42, p.149-156, 1983.
- RAIJ, B. Van ; MASCARENHAS, H. A. A. ; PEREIRA, J. C. V. N. A. ; IGUE, T. ; SORGI, G. Efeito do calcário e de gesso para soja cultivada em latossolo roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.305-312, 1994.
- RAMIREZ, R. ; BERENJEL, T. Influencia del aluminio sobre la acumulación y distribución del P, Ca, Mg y Al en líneas de maíz. **Agronomía Tropical**, Maracay, v.34, p.142-152, 1984.
- RAMIREZ, R. ; BEG, M. D. ; COLMENARES, O. ; MELÉNDEZ, E. ; MARBAL, P. ; BLANCO, F. ; GUZMÁN, E. ; HERNÁNDEZ, C. ; CHIRINOS, A. Relación entre la respuesta del maíz a la aplicación del fósforo y el P asimilable del suelo. **Agronomía Tropical**, Maracay, v.38, n.1-3, p.5-20, 1988.
- RAMOS, W. J. ; MASCARENHAS, H. A. A. ; BATAGLIA, O. C. ; IGUE, T. ; TANAKA, R. T. Acúmulo de massa seca e teores de elementos químicos em três cultivares de soja em função da correção da acidez do solo de Itararé - SP. **Bragantia**, Campinas, v.48, n.2, p.223-232, 1989.
- RHEINHEIMER, D. S. ; PETRY, C. ; KAMINSKI, J. ; BARTZ, H. R. Influência do estresse de alumínio sobre plantas de fumo. Efeitos no sistema radicular, na absorção de fósforo e cálcio e no acúmulo de massa seca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.1, p.63-68, 1994.

- ROSOLEM, C. A. ; BESSA, M. A. ; AMARAL, P. G. do; PEREIRA, H. F. M. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.277-285, 1992.
- ROSOLEM, C. A. ; VALE, L. S. R. ; GRASSI FILHO, H. ; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.491-497, 1994.
- SANGOI, L. ; ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p.13-24, 1994.
- SEAB, SECRETARIA ESTADUAL DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO Departamento de Economia Rural. **Consumo aparente e demanda potencial de calcário no Paraná**. Curitiba, 1987.
- SHAMSHUDDIN, I. ; CHE FAUZIAH ; SHARIFUDDIN, H. A. H. Effects of limestone and gypsum application to a Malaysian ultisol on soil solution composition and yields of maize and ground nut. **Plant and Soil**, v.134, p.45-52, 1991.
- SHOEMAKER, H. E. ; MCLEAN, E. O. ; PRATT, P. F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.25, n.4, p.274-277, 1961.
- SHUMAN, L. M. Comparison of a chelate method with direct analysis for determining aluminum activity in subsoils. **Soil Science**, Baltimore, v.159, n.2, p.122-128, 1995.
- SILVA, D. J. ; ALVARENGA, R. C. ; ALVAREZ V., V. H. ; SOARES, P. C. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.203-209, 1993.
- SILVA, N. M. ; CARVALHO, L. H. ; HIROCE, R. ; KONDO, J. I. Resposta do algodoeiro à aplicação de calcário e de cloreto de potássio. **Bragantia**, Campinas, v.43, n.2, p.137-142, 1984.
- SMITH, C. B. ; DEMCHAK, K. T. ; FERRETI, P. A. Effects of Lime Type on Yields and Leaf Concentrations of Several Vegetable Crops as Related to Soil Test Levels. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.111, n.6, p.837-840, 1986.
- SOUSA, D. M. G. ; MIRANDA, L. N. ; LOBATO, E. ; CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.13, n.2, p.193-198, 1989.
- SOUSA, D. M. G. ; VOLKWEISS, S. J. Rendimento de matéria seca e conteúdo de fósforo da parte aérea de milho influenciados pela adubação com superfosfato triplo em pó e em grânulos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.127-132, 1987.
- SUBRAMANI, S. ; KANNAIYAN, S. Effect of gypsum and lime application and *Azolla pinnata* inoculation on grain yield of rice. **Tropical Agriculture**, Ann Arbor, v.65, n.3, p.226-228, 1988.

- TANAKA, R. T. ; MASCARENHAS, H. A. A. ; BULISANI, E. A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.247-250, 1992.
- TEIXEIRA, L. A. J. ; TESTA, V. M. ; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.207-214, 1994.
- THOMPSON, J. W. Effects of fertilizers and soil amendments on the mineral constituents of maize. **Soil Science**, Baltimore, v.94, n.5, p.323-330, 1962.
- TISDALE, S. L. ; NELSON, W. L. ; BEATON, J. D. ; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**, 5. ed. New York: Macmillan, 1985. 634p.
- TRANI, P. E. ; HIROCE, R. ; BATAGLIA, O. C. **Análise foliar, amostragem e interpretação**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 18p.
- VASCONCELLOS, C. A. ; MAGALHÃES, P. C. ; DURÃES, F. O. M. ; FERNANDES, F. T. Práticas de despendoamento em milho tropical e seus efeitos na nutrição mineral e eficiência nutricional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.3, p.353-358, 1995.
- VILELA, L. ; RITCHEY, K. D. ; SILVA, J. E. Resposta da soja e do milho ao enxofre num latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado do distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.281-285, 1995.
- YORK Jr., E. T. ; BRADFIELD, R. ; PEECH, M. Influence of lime and potassium on yield and cation composition of plants. **Soil Science**, Baltimore, v.77, p.53-63, 1954.