CRESCIMENTO E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM *Vigna*
unguiculata (L.) WALP "JAGUARIBE" EM FUNÇÃO DO
FORNECIMENTO DE POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO
E CULTIVADO EM VASOS COM SOLO

GEORGE RODRIGUES DA SILVA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1989

S586c

Silva, George Rodrigues da
Crescimento e concentração de nutrientes em Vigna unguiculata (L.) Walp "Jaguaribe" em função do fornecimento de potássio, cálcio e magnésio e cultivado em vasos com solo. Piracicaba, 1989.

70p.

Tese - ESALQ
Bibliografia

1- Feijão-de-corda - Crescimento
2- Feijão-de-corda - Nutrição 3- Macronutriente em feijão-de-corda. I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 635.652

CRESCIMENTO E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM *Viana*
unguiculata (L.) WALP "JAGUARIBE" EM FUNÇÃO DO
FORNECIMENTO DE POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO
E CULTIVADO EM VASOS COM SOLO

GEORGE RODRIGUES DA SILVA

Aprovada em: 15/09/1989

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Ferraz de Mello	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Renato Sarruge	ESALQ/USP
Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Dias Costa	ESALQ/USP
Dr. Dilson Augusto Capucho Frazão	EMBRAPA/CPATU

Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

- Orientador -

*Aos meus pais, Beatriz e Russo,
pelos incentivos, princípios en-
sinados e pela minha vida.*

*À minha esposa, Fátima,
pelo apoio, dedicação
e amor.*

*Aos meus queridos filhos,
Adriana, Daniel e Denise,
ideais de minha vida.*

A G R A D E C I M E N T O S

- Ao Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira, pela orientação competente e confiança em mim depositada;
- Aos Engenheiros Agrônomos Raimundo Parente de Oliveira e Rosemary Moraes Ferreira Viêgas, pela execução e orientação nas análises estatísticas;
- Aos laboratoristas do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP, pelo auxílio nas análises químicas;
- Aos funcionários e professores do Departamento de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará-FCAP, pela solidariedade e incentivo;
- À Faculdade de Ciências Agrárias do Pará-FCAP, pela oportunidade;
- À CAPES, pelo auxílio financeiro;
- À todos, que direta ou indiretamente tornaram possível a realização deste trabalho.

S U M Á R I O

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Localização do experimento e solo utilizado	14
3.2. Determinação das características químicas e granulométricas do solo	14
3.3. Tratamentos	15
3.4. Delineamento experimental e análises esta- tísticas	17
3.5. Instalação e condução do experimento	18
3.6. Análise química das plantas	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Produção de matéria seca	20
4.2. Concentração de nutrientes na matéria seca.	32
4.2.1. Potássio	32
4.2.2. Cálcio	33
4.2.3. Magnésio	39
4.2.4. Nitrogênio	40
4.2.5. Fósforo	41
4.2.6. Ferro	44

	Página
4.2.7. Manganês	47
4.2.8. Zinco	51
4.2.9. Cobre	53
5. CONCLUSÕES	57
5.1. Produção de matéria seca	57
5.2. Concentração de nutrientes	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura nº:	Página
1 Curvas de regressão dos pesos da matéria seca (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio	26
2 Curvas de regressão dos pesos da matéria seca (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio	27
3 Curvas de regressão dos pesos da matéria seca (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com cálcio	29
4 Curvas de regressão dos teores de potássio (Y) e magnésio (Y) das plantas de caupi, em função das doses de potássio aplicadas no solo (X)	34
5 Curvas de regressão dos teores de cálcio (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio	36
6 Curvas de regressão dos teores de cálcio (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com cálcio	37
7 Curvas de regressão dos teores de nitrogênio (Y) e fósforo (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X)	42

8	Curva de regressão dos teores de fósforo (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X)	45
9	Curvas de regressão dos teores de ferro (Y), manganês (Y) e zinco (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X) ...	48
10	Curvas de regressão dos teores de ferro (Y) e zinco (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X)	49
11	Curvas de regressão dos teores de ferro (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio	50
12	Curva de regressão dos teores de cobre (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X)	55
13	Curvas de regressão dos teores de cobre (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com cálcio	56

LISTA DE TABELAS

Tabela nº	Página
1 Caracterização química do solo estudado	16
2 Caracterização granulométrica do solo estudado ..	16
3 Dados originais dos níveis de K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} trocáveis (meq/100 g de solo) e doses de KCl, $CaCO_3$ e MgO (g/vaso) constituintes dos tratamentos aplicados	17
4 Produção de matéria seca (g/vaso) e concentração dos macronutrientes nas plantas de caupi: média de 2 repetições	21
5 Concentração dos micronutrientes (ppm) nas plantas de caupi: média de 2 repetições	22
6 Análise da variância das concentrações de macronutrientes (%) das plantas de caupi, em função dos tratamentos aplicados	23
7 Análise da variância do peso da matéria seca (g/vaso) e das concentrações de micronutrientes (ppm) das plantas de caupi, em função dos tratamentos aplicados	23
8 Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função dos tratamentos aplicados	24
9 Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função das doses de potássio e cálcio aplicadas no solo	24

10	Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função das doses de potássio e magnésio aplicadas no solo	25
11	Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio e magnésio aplicadas no solo	25
12	Concentração de potássio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio aplicadas no solo	32
13	Concentração de cálcio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio e magnésio aplicadas no solo	35
14	Concentração de cálcio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio e magnésio aplicadas no solo	35
15	Concentração de magnésio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio aplicadas no solo	39
16	Concentração de nitrogênio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo	41
17	Concentração de fósforo (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo	43

18 Concentração de fósforo (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo	43
19 Concentração de ferro (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo	44
20 Concentração de ferro (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo	46
21 Concentração de ferro (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio e cálcio aplicadas no solo	46
22 Concentração de manganês (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo	51
23 Concentração de zinco (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo	52
24 Concentração de zinco (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo	52
25 Concentração de cobre (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo	53
26 Concentração de cobre (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo	53

CRESCIMENTO E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM *Vigna*
unguiculata (L.) WALP "JAGUARIBE" EM FUNÇÃO DO
FORNECIMENTO DE POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO
E CULTIVADO EM VASOS COM SOLO

Autor: GEORGE RODRIGUES DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

RESUMO

Plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) "Jaguaribe" foram cultivadas em casa de vegetação, com o objetivo de identificar as interações entre potássio, cálcio e magnésio na produção de matéria seca e estudar os efeitos dos tratamentos sobre a acumulação dos nutrientes nas plantas.

O delineamento experimental foi um fatorial 3^3 com 3 doses de K (0,2; 0,3 e 0,4 meq/100 g de solo); Ca (2,0; 3,0 e 4,0 meq/100 g de solo) e Mg (0,75; 1,00 e 1,25 meq/100 g de solo) e duas repetições. O solo foi classificado como Podzólico Vermelho Amarelo.

Os resultados mostraram que a máxima produção de matéria seca foi obtida com as doses de 0,3; 4,0 e 1,00 meq/100 g de solo, de potássio, cálcio e magnésio, respectivamente.

As doses máximas de potássio, cálcio e magnésio no solo reduziram a produção de matéria seca. O potássio aplicado no solo aumentou a concentração deste elemento e diminuiu a de Mg nas plantas. O cálcio reduziu a concentração de N, P, Fe, Mn, Zn e Cu. O magnésio aumentou a concentração de Ca e reduziu a de P, Fe, Zn e Cu. Interações duplas entre potássio, cálcio e magnésio diminuíram a concentração de ferro e cobre nas plantas.

GROWTH AND NUTRIENT CONCENTRATION IN *Vigna unguiculata* (L.) WALP. "JAGUARIBE" IN FUNCTION OF THE SUPPLYING OF THE POTASSIUM, CALCIUM AND MAGNESIUM AND CULTIVATED IN POTS WITH SOIL

Author: GEORGE RODRIGUES DA SILVA

Adviser: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

SUMMARY

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) "Jaguaribe" plants were cultivated in green house with the aim of examining the relations among K, Ca and Mg in the plant dry matter production and to verify the effect of the proposed treatments in the nutrient accumulation in the plant tissue.

The experimental design was a 3^3 factorial with 3 rates of K (0.2, 0.3 and 0.4 meq/100 g soil); Ca (2.0, 3.0 and 4.0 meq/100 g soil) and Mg (0.75, 1.00 and 1.25 meq/100 g soil) and two replications. The soil was classified as a Red Yellow Podzolic.

The results showed that the highest dry matter production was obtained at 0.3, 4.0 and 1.00 meq/100 g soil for K, Ca and Mg, respectively.

The maximum rates of potassium, calcium and

magnesium reduced the dry matter production. The addition of K to the soil improved the concentrations of this element in the plant tissue, but decreased the concentration of Mg. Calcium decreased the N, P, Fe, Zn and Cu concentration in the plant tissue. Magnesium improved the concentration of Ca and decreased the P, Fe, Zn and Cu concentration in the plant tissue. Double interaction among K, Ca and Mg decreased the concentration of Fe and Cu in the plants tissue.

1. INTRODUÇÃO

O caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) também conhecido como feijão de corda, feijão da colônia ou feijão ramador é largamente cultivada na região Norte e Nordeste, em razão de sua grande capacidade de adaptação às condições edafo-climáticas dessas regiões.

Ocupando um lugar de destaque na alimentação do homem amazônico, por ser uma boa opção em termos de fonte proteica para a população, a cultura assegura renda e ocupação do homem no campo, revestindo-se de grande importância social e econômica.

Muito embora o clima e a topografia favoreçam o desenvolvimento da cultura, os solos mais utilizados com a mesma, Podzólico Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, geralmente apresentam baixa fertilidade natural, proporcionando produtividades média em torno de 500 kg/ha (POLTRONIERI, 1983).

Os solos das regiões tropicais úmidas, normalmente têm teores baixos de potássio, cálcio e magnésio e para

que um substrato seja apropriado para o desenvolvimento das plantas, deve conter aqueles nutrientes em quantidades adequadas e em proporções apropriadas entre si e para com os demais cátions trocáveis.

Desse modo, torna-se importante o conhecimento dos problemas nutricionais dessas plantas, a fim de possibilitar a utilização de práticas racionais de manejo que assegurem o aumento da produtividade.

Este trabalho foi conduzido com a finalidade de identificar as interações entre potássio, cálcio e magnésio na produção de matéria seca e estudar os efeitos dos tratamentos propostos sobre a acumulação dos nutrientes nas plantas.

2. REVISAO DE LITERATURA

As pesquisas sobre as relações entre potássio, cálcio e magnésio e o efeito de suas proporções variáveis, sobre a nutrição e o rendimento das culturas são amplamente encontradas na literatura sobre o assunto (LUCAS & SCARSETH, 1947; MUNSON, 1968; ARNON, 1976; PEREIRA, 1980; PEIXOTO, 1980; TENÓRIO, 1981 e USHERWOOD, 1982).

De modo geral, os pesquisadores concordam que é tão importante a qualidade absoluta de um cátion no solo, quanto a quantidade do mesmo em relação à proporção e a natureza dos outros íons do solo, para o estudo da nutrição das plantas.

As reações do solo são influenciadas pelas condições de equilíbrio entre os nutrientes e outros íons do solo, ou pelas relações entre os teores de determinados nutrientes (FASSBENDER, 1975), afetando tanto a adsorção como a absorção.

Assim, quando associados com o desenvolvimento de determinada cultura, os valores absolutos das bases trocá-

veis se revestem de particular importância na interpretação do nível de fertilidade do solo.

As interações entre cátions existentes nas plantas, ocorrem, principalmente por processos que envolvem transporte através da membrana celular e têm efeitos inibitórios, sendo na maioria das vezes de natureza competitiva.

O efeito antagônico entre os cátions potássio, cálcio e magnésio ainda não estão bem explicados, uma vez que tanto o cálcio como o magnésio podem deprimir a absorção de potássio, como este também pode inibir a absorção dos outros dois cátions pela planta (SOARES, 1975).

É extensa a literatura sobre trabalhos conduzidos com o objetivo de explicar o efeito da interação cálcio/potássio/magnésio em solos, sobre o crescimento e composição química das plantas.

Segundo HANDLEY et alii (1965) a modificação na permeabilidade da membrana celular pode ser responsável pelo efeito inibitório do cálcio na absorção do potássio. Por outro lado, o efeito inibitório do potássio na absorção do cálcio e magnésio pode ser explicado conforme as hipóteses de ADDISCOTT (1974): 1) a absorção de cátions pode ser limitada por uma baixa absorção de ânions. Um aumento da quantidade de potássio no solo provocará uma redução na absorção de cálcio e magnésio, já que o primeiro é preferencialmente absorvido; 2) ao elevar-se a concentração de potássio na solução do

solo, ocorrerá uma redução na diferença de potencial entre a solução externa e a solução do xilema, resultando em diminuição na fase passiva de absorção do cálcio e magnésio; 3) a composição do fluxo de translocação do floema pode ser alterada pelo fornecimento de potássio, afetando o fluxo de ATP para as raízes, resultando em prejuízo para a fase ativa do processo de absorção de cálcio e magnésio.

SANCHEZ CONDE (1980), trabalhando com alface em solução nutritiva com cinco diferentes relações K:Ca (1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:8), constatou decréscimos nas relações K: Ca das folhas, proporcionais àquelas relações existentes no meio de crescimento indicando redução na absorção de potássio induzida pelo aumento na concentração de cálcio.

Sob certas condições o cálcio pode exercer efeito estimulante sobre a absorção de potássio. VIETS (1944) observou um incremento na absorção de potássio por raízes de cevada, provocado por um aumento na concentração de cálcio na solução de trabalho. Segundo o autor, houve um aumento na permeabilidade da membrana celular ao potássio, provocado pelo cálcio.

Segundo OVERSTREET et alii (1952), o efeito estimulante do cálcio sobre o potássio ocorre quando o primeiro se encontra em baixas concentrações. À medida que estas concentrações aumentam, ocorre uma redução na absorção do potássio.

A adição de calcário não reduz a absorção do potássio pelas plantas, podendo até aumentá-la, mas a relação Ca:K nas plantas tende a aumentar (DEROK, 1964). SOUZA et alii (1977), em trabalhos de campo, utilizando um Latossolo Vermelho Escuro distrófico de Brasília-DF, encontraram que a calagem na razão de 3 t/ha aumentou significativamente o teor de potássio nas camadas inferiores do solo, até mesmo a 60 - 70 cm. Esta medida foi determinada nas amostras de solo tomadas a várias profundidades, após a colheita do milho e em parcelas que receberam entre 300 e 600 kg de K_2O /ha.

Conduzindo experimento com dois Oxissolos da região de Botucatu-SP, onde testava a influência do potássio sobre a relação Ca:Mg no solo, SOARES (1978) observou um efeito antagônico bem nítido do potássio na absorção do cálcio e do magnésio, por plantas de soja.

Respostas positivas para a aplicação de calcário, na maioria das culturas, são amplamente encontradas na literatura sobre o assunto. Entretanto, JASLOWSKI (1970), relata que o efeito do cálcio na neutralização dos danos na planta é bem maior pela mobilização de magnésio e de outros nutrientes no solo, do que pela redução da acidez do solo.

Trabalhando em condições de campo com culturas de mandioca, soja e gramínea, SPAIN et alii (1974) observaram que a absorção de potássio foi aumentada pela calagem. BEN (1974) confirmou esse resultado em casa de vegetação. Os ex-

perimentos de KRAUSE (1965) demonstraram que as perdas de potássio em solos ácidos e com pH menor que 5, foram 3 a 4 vezes maiores do que em solos com pH acima de 6.

Freqüentemente, as relações entre os cátions são calculadas para se identificar a melhor proporção entre os mesmos, para o solo e para as culturas. MIRANDA (1966) encontrou que quando a relação Ca:K no solo era igual a 34, havia um efeito linear do potássio na produção de milho. Por sua vez, WATANABE et alii (1971) observaram que à medida que se aumentou o valor da relação K:Ca em plantas de cevada e sorgo, maiores produções de matéria seca foram obtidas.

FUZATTO & FERRAZ (1967) constataram que a relação Ca:K explicava melhor os efeitos da adubação potássica para o algodoeiro. Quando esta relação era maior que 20, a cultura respondia à adubação potássica, porém se era inferior a 10, não havia resposta positiva. LACA BUENDIA & NEPTUNE (1971) também encontraram valores próximos de 10 para a relação Ca:K e não obtiveram respostas significativas à adubação potássica.

Resultados de estudos conduzidos por SANTOS & CABRAL (1982), sobre as interações potássio/cálcio, demonstraram não haver influência de um desses sobre o outro, por plantas de leguminosas (*Trifolium alexandrinum* L.).

Cada planta tem uma particular habilidade em absorver e utilizar os nutrientes do solo. O comportamento

das plantas no meio relaciona-se, por exemplo, com os valores das relações Ca:Mg no solo (BRAGA (1978)).

O efeito da relação Ca:Mg no solo, sobre a nutrição das plantas, varia bastante em função das características do solo e da planta.

MALAVOLTA (1976a), trabalhando com raízes destacadas de soja, observaram que o magnésio reduziu a absorção de cálcio, enquanto que MOORE et alii (1961) verificaram uma ação depressiva do cálcio, na absorção do magnésio. Estes autores sugerem uma inibição competitiva, dada a semelhança dos dois íons, opinião compartilhada por MAAS (1969), LOUE (1969) e WALKER & PECK (1974), que encontraram correlações negativas entre as concentrações de K e Ca, K e Mg e Ca e Mg no milho, confirmando a inibição competitiva entre esses íons.

De acordo com MALAVOLTA (1979), os calcários calcíticos contêm em média 45% de CaO e os dolomíticos em média, 20-40% de CaO e 10-20% de MgO. Devido a baixa quantidade de magnésio nos calcários calcíticos, MALAVOLTA (1976b) é de opinião que o uso de tais corretivos poderá resultar em relações desfavoráveis de Ca:Mg e Ca:K no solo, o que provocaria deficiência de potássio e magnésio.

COELHO & VERLENGIA (1973) citam que o excesso de cálcio em relação ao magnésio na solução do solo, prejudica a absorção do último, do mesmo modo o excesso de magnésio tam

bém prejudica a absorção do cálcio, o que é consistente com as observações de MALAVOLTA (1976a).

Diversos pesquisadores têm encontrado correlação entre as relações Ca:Mg no solo e a produção de culturas (EVANS, 1955; LAROCHE, 1967 e LIMA, 1979).

HOSSNER & DOLL (1970), conduzindo experimento com batata, observaram que tanto magnésio trocável como a relação Mg:K relacionaram-se com a produtividade, tendo esta diminuído acentuadamente quando a relação Mg:K decrescia abaixo de 0,8. Entretanto, quando o teor de magnésio trocável estava acima de 0,3 meq/100 g de solo, a produtividade não foi afetada.

Os resultados obtidos por McLEAN & CARBONEL (1972) demonstraram que as concentrações de magnésio nas plantas de alfafa e milho, cresciam com o aumento da saturação em magnésio, porém o potássio provocava um decréscimo nos teores de magnésio das plantas. Os dados encontrados indicam que, provavelmente, de 6 a 10% de saturação em magnésio seria o suficiente para a obtenção da máxima produtividade dessas culturas.

Diversos estudos com referência às relações ótimas de Ca:Mg trocáveis no solo para o crescimento das plantas, têm sido conduzidos. KEY et alii (1962) não encontraram uma relação ótima para a produção de soja e milho. Hun-

ter¹, citado por KEY et alii (1962), também não obteve uma relação Ca:Mg ideal para a produção de alfafa. BESEDIN (1966) concluiu que as melhores relações Ca:Mg para o milho eram de 1:1 e 1:2.

SILVA (1980) encontrou uma relação Ca:Mg em torno de 3:1 para maiores produções de matéria seca de parte aérea e raízes de milho. Também, trabalhando com milho, ARANTES (1983) encontrou que a relação Ca:Mg de 5:1 promoveu maiores produções. SFREDO (1976) enfatiza que para não haver prejuízo na produção de matéria seca do sorgo, o equilíbrio Ca:Mg do corretivo deve ser maior que 1:1 e a relação Ca:Mg no solo deve ser superior a 0,5:1.

A interação K/Mg é de grande importância em solos onde o teor de magnésio é deficiente ou próximo do nível crítico (ROBERTS & WEAVER, 1974). Trabalhos realizados por CHANDLER (1974) e DEFELIPO (1974) confirmaram a existência de um antagonismo acentuado entre potássio e magnésio. Segundo BOSWELL & PARKS (1957) e DIJKSHOORN et alii (1974), adubações com quantidades elevadas de potássio, geralmente provocam uma diminuição na absorção de magnésio pelas plantas. Do mesmo modo, adições pesadas de magnésio podem provocar redução na absorção de potássio, conforme FOY & BARBER (1958) e EVANS (1959).

¹ HUNTER, A.S. Yield and composition of alfafa as affected by variations in calcium-magnesium ratios in the soil. *Soil Science*, Baltimore, 67: 53-62, 1949.

Entretanto, OMAR & EL KOBIA (1966) observaram que absorção de potássio foi muito pouco influenciada pelo magnésio, mesmo em nível elevado.

Estudando a resposta do sorgo sacarino ao magnésio na ausência e presença de calagem e de adubação potássica, ROSOLEM et alii (1984) constataram que quando a relação Mg:K no solo foi menor que 0,6, ou a relação Ca:K no solo foi menor que 7,4, a produtividade foi prejudicada em função das menores absorções de Mg e Ca. No mesmo trabalho, observou-se que a aplicação do potássio não afetou os teores de magnésio do solo, porém a absorção deste elemento foi reprimida.

Na explicação da variação de rendimentos da matéria seca de plântulas de cacau, os valores da relação (Ca + Mg)/K deram melhores resultados do que a relação Mg:K. As relações (Ca + Mg)/K que determinaram maiores produções variaram entre 16,5 e 24,5 (MORAIS & CABALA, 1971).

Segundo Fassbender & Piñeres², citados por BEN (1974), níveis altos de calagem podem provocar desequilíbrio em relação ao potássio e sugeriram, para os solos da Costa Rica, uma relação (Ca + Mg)/K entre 27 e 40.

LIMA (1979), conduzindo experimento em dois solos diferentes, concluiu que a produção máxima de matéria se-

² FASSBENDER, H.W. & PIÑERES, E. Effect of liming in the exchangeable cation composition and availability of six Costa Rica soils. **Z. Pflanz, Bodenk**, **130**(2):124-35, 1971.

ca de tomateiro no Latossolo Vermelho-Escuro (LVE) foi obtida quando a relação Ca:Mg foi igual a 1,0, a relação (Ca+Mg)/K igual a 10,5 e a relação Ca:Mg do corretivo foi de 1,8. No Latossolo Húmido (LH) a máxima produção de matéria seca foi conseguida com a relação Ca:Mg igual a 0,8, a relação (Ca+Mg)/K igual a 26,3 e a relação Ca:Mg no corretivo foi de 1,1.

Segundo STEWARD & DURZAN (1965) e GUTIERREZ (1968), o cálcio e o potássio estão, individualmente, envolvidos no metabolismo do nitrogênio e a interação daqueles dois elementos também afetam o comportamento deste último.

Estudando o efeito da concentração de nitrato de potássio e nitrato de cálcio sobre o metabolismo de discos de batatinha, STEWARD & PRESTON (1941) observaram que a respiração e a síntese de proteínas eram estimuladas com maiores concentrações de KNO_3 , enquanto efeito oposto ocorria com o aumento da $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. De acordo com os autores, o efeito específico seria determinado pela concentração do ânion em cada um dos sais utilizados: em solução de KNO_3 a maior parte do nitrato absorvido é convertido em aminoácidos e proteínas; em solução de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ menor quantidade de nitrato é absorvida e o metabolismo do nitrogênio é desviado dos aminoácidos para amidas e amônia.

ADAPETU & AKAPA (1977), estudando o crescimento das raízes e a capacidade de absorção de nutrientes em 5 cultivares de caupi na Nigéria, observaram que a deficiência de

potássio no solo reduziu drasticamente a absorção de fósforo pelas raízes.

DANTAS (1978) relatou que os tratamentos que mais afetaram as plantas de feijão caupi, variedades Pitiúba e Dorminhoco, foram em ordem decrescente: omissão de nitrogênio, cálcio, potássio, fósforo, ferro, boro e magnésio. Em ambas as variedades, as seguintes exigências nutricionais são requeridas para atingir o estágio reprodutivo: $K > N > Ca > Mg > S > P$ para os macronutrientes e $Fe > B > Mn > Zn > Cu > Mo$ para os micronutrientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E SOLO UTILIZADO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Utilizou-se amostras de um solo localizado no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, classificado de acordo com a Comissão de Solos do CNPEA (BRASIL, 1960) como Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras e pertencente à Série Quebra-Dente, segundo RANZANI (1966).

As amostras foram coletadas na camada de 0-30 cm, secas ao ar e passadas em peneiras com 2 mm de malha.

3.2. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO

As análises químicas iniciais, antes da adição

dos tratamentos, foram feitas determinando-se: **a)** pH em água e KCl 1N, empregando-se a relação solo: solução 1:25; **b)** fósforo disponível extraído com solução H_2SO_4 0,05N; **c)** bases trocáveis extraídas com acetato de amônio 1N pH 7,0; **d)** Al^{+++} (acidez trocável) extraído com KCl 1N; **e)** $\text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$ (acidez titulável) extraídos com solução de acetato de amônio 1N, pH 7,0; **f)** carbono orgânico, por via úmida através da oxidação com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em presença de H_2SO_4 .

A análise granulométrica do solo foi efetuada pelo método da pipeta (KILMER & ALEXANDER, 1949), empregando-se hexametáfosfato de sódio a 5%, como dispersante.

Os resultados das análises químicas e granulométricas encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2.

3.3. TRATAMENTOS

As dosagens de potássio, cálcio e magnésio que constituíram os tratamentos, foram selecionadas em função dos níveis naturais daqueles elementos existentes no solo. Os tratamentos constaram da adição de potássio, cálcio e magnésio, respectivamente, nas formas de KCl com 60% de K_2O , CaCO_3 e MgO puros para análise (p.a.), em quantidades calculadas para se obter três níveis crescentes de concentração dos citados nutrientes em formas trocáveis no solo. Os níveis de K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} trocáveis estabelecidos e as quantidades de KCl, CaCO_3 e MgO adicionados, encontram-se na Tabela 3.

Tabela 1. Caracterização química do solo estudado.

pH		C (%)	e mg/100 g T.F.S.A.						
H ₂ O	KCl		PO ₄ ⁻³	K ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H ⁺ + Al ³⁺
4,9	4,5	0,34	0,09	0,14	0,49	0,30	0,10	0,34	1,44

Tabela 2. Caracterização granulométrica do solo estudado.

Argila (%)	Limo (%)	Areia total (%)	Areia muito grossa (%)	Areia grossa (%)	Areia média (%)	Areia fina (%)	Areia muito fina (%)
7,3	19,7	73	0,0	0,7	16,8	41,5	14

Tabela 3. Dados originais dos níveis de K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} trocáveis (meq/100 g de solo) e doses de KCl, $CaCO_3$ e MgO (g/vaso) constantes dos tratamentos aplicados.

Doses	meq de cátion trocável/100 g de solo a ser atingido	g/vaso do material químico a ser adicionado
K ₁	0,2	0,23 (1)
K ₂	0,3	0,62 (1)
K ₃	0,4	1,01 (1)
Ca ₁	2,0	3,78 (2)
Ca ₂	3,0	6,28 (2)
Ca ₃	4,0	8,78 (2)
Mg ₁	0,75	0,48 (3)
Mg ₂	1,00	0,70 (3)
Mg ₃	1,25	0,95 (3)

- (1) g KCl/vaso
 (2) g $CaCO_3$ /vaso
 (3) g MgO/vaso

3.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado e um esquema fatorial 3^3 constante de três níveis de potássio ($K_1 - K_2 - K_3$), de cálcio ($Ca_1 - Ca_2 - Ca_3$) e de magnésio ($Mg_1 - Mg_2 - Mg_3$). O trabalho constou de 27 tratamentos com 2 repetições, totalizando 54 parcelas.

As análises estatísticas foram feitas segundo PIMENTEL GOMES (1973). Foi usado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias e análises

de regressão das variáveis estudadas. O modelo de análise de variância seguiu o esquema:

Causa de variação	G.L.
níveis de potássio (k)	2
níveis de cálcio (Ca)	2
níveis de magnésio (Mg)	2
interação K x Ca	4
interação K x Mg	4
interação Ca x Mg	4
interação K x Ca x Mg	8
resíduo	27
Total	53

3.5. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os produtos químicos CaCO_3 e MgO constantes dos tratamentos envolvendo os níveis crescentes de cálcio e magnésio, depois de pesados, foram misturados a 5 kg de solo e a mistura acondicionada em vasos de argila revestidos internamente com neutrol.

Após a adição do cálcio e do magnésio, os solos nos vasos foram umedecidos e incubados à sombra durante 20 dias, mantendo-se o teor de umidade em torno de 0,3 atm de tensão através de pesagens diárias.

Findo o período de incubação foram adicionadas nos vasos as doses de KCl que constituíam os tratamentos correspondentes aos níveis crescentes de potássio, além do correspondente a 100 ppm de P e 45 ppm de N na forma de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. Em seguida, procedeu-se o plantio de 10 sementes de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) "Jaguaribe" por vaso. O desbaste para 6 plantas ocorreu 5 dias após a germinação. Vinte dias após a germinação, aplicou-se 55 ppm de N em cobertura na forma de uréia. Diariamente era adicionada água destilada para manter a umidade do solo.

Após 40 dias do plantio, as plantas foram colhidas e secas em estufa a $65-70^\circ\text{C}$, até peso constante.

3.6. ANÁLISE QUÍMICA DAS PLANTAS

Em seguida à determinação do peso do material seco, as amostras das plantas foram moídas em moinho tipo Wiley e analisadas para macro e micronutrientes, conforme metodologia citada em SARRUGE & HAAG (1974).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias gerais da produção de matéria seca e de concentração de macro e micronutrientes, determinadas nas plantas de caupi encontram-se nas **Tabelas 4 e 5**.

As análises de variância da produção de matéria seca e concentração de nutrientes em função dos tratamentos aplicados são apresentadas nas **Tabelas 6 e 7**.

4.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

As médias gerais da produção de matéria seca, em função da interação potássio x cálcio x magnésio, estão contidas na **Tabela 8**, enquanto que os efeitos das interações potássio x cálcio, potássio x magnésio e cálcio x magnésio são apresentados, respectivamente, nas **Tabelas 9, 10 e 11**.

As regressões do 2º grau obtidas para a produção de matéria seca em função das doses de potássio e cálcio no solo, encontram-se na **Figura 1**. A produção máxima ocorreu com a dose K₂ (0,3 meq/100 g de solo) diante da dose 1 de Ca (2,0 meq/100 g de solo).

As regressões representativas da produção de matéria seca em função das doses de magnésio no solo, diante das diferentes doses de potássio, constam da Figura 2.

Tabela 4. Produção de matéria seca (g/vaso) e concentração dos macronutrientes (%) nas plantas de caupi: média de 2 repetições.

Tratamentos (K - Ca - Mg)	MS	K	Ca	Mg	N	P
111	25,40	1,09	2,38	0,68	2,54	0,50
112	24,91	1,21	2,41	0,78	2,48	0,54
113	24,15	1,22	2,00	0,68	2,55	0,48
121	28,52	1,02	2,20	0,70	2,50	0,56
122	24,50	1,21	2,32	0,66	2,45	0,43
123	24,00	1,13	3,31	0,61	2,48	0,45
131	19,70	1,24	2,42	0,74	2,40	0,50
132	22,61	0,89	2,18	0,65	2,41	0,47
133	24,15	1,12	2,70	0,70	2,46	0,44
211	28,70	1,34	2,61	0,63	2,49	0,53
212	28,00	1,09	2,20	0,78	2,53	0,54
213	28,00	1,24	2,50	0,79	2,47	0,46
221	23,00	1,31	1,87	0,62	2,52	0,55
222	26,50	1,37	2,30	0,58	2,40	0,43
223	27,70	1,52	2,50	0,77	2,46	0,49
231	21,53	1,08	2,76	0,59	2,47	0,50
232	30,00	1,08	2,80	0,92	2,46	0,49
233	28,00	1,46	2,27	0,65	2,47	0,48
311	22,88	1,56	2,15	0,65	2,53	0,54
312	25,70	1,57	2,80	0,78	2,51	0,55
313	24,41	1,39	3,00	0,71	2,51	0,50
321	24,60	1,62	2,70	0,46	2,49	0,39
322	26,50	1,42	2,00	0,61	2,46	0,45
323	26,39	1,42	2,17	0,70	2,43	0,45
331	25,00	1,81	2,30	0,62	2,45	0,50
332	21,51	1,37	2,47	0,61	2,47	0,41
333	23,19	1,20	2,15	0,55	2,46	0,39

Tabela 5. Concentração dos micronutrientes (ppm) nas plantas de caupi: média de 2 repetições.

Tratamentos (K - Ca - Mg)	Fe	Mn	Zn	Cu
111	180	135	49	3,80
112	160	126	42	3,10
113	158	132	44	3,00
121	151	132	53	3,00
122	156	127	40	3,00
123	138	129	43	2,80
131	148	120	49	2,50
132	150	120	37	2,90
133	133	125	30	2,80
211	166	131	60	3,20
212	150	130	41	3,20
213	158	129	38	3,50
221	158	135	48	3,00
222	140	129	40	3,00
223	155	128	41	2,50
231	152	118	50	2,60
232	152	122	35	3,30
233	151	120	39	3,00
311	165	134	50	3,80
312	154	128	48	3,50
313	153	125	44	2,80
321	152	128	51	3,20
322	144	131	40	2,70
323	147	132	43	2,80
331	148	130	48	2,80
332	150	126	26	3,00
333	155	134	28	3,20

Tabela 6. Análise da variância das concentrações de macronutrientes (%) nas plantas de caupi, em função dos tratamentos aplicados.

Causa de Variação	G.L.	Q.M.				
		Potássio	Cálcio	Magnésio	Nitrogênio	Fósforo
K	2	0.5878**	0.0043	0.0350*	0.0001	0.0048
Ca	2	0.0332	0.0393	0.0257	0.0188**	0.0150**
Mg	2	0.0412	0.0947**	0.0264	0.0026	0.0104**
K x Ca	4	0.0251	0.0075	0.0027	0.0024	0.0036 .
K x Mg	4	0.0046	0.0688**	0.0130	0.0018	0.0007
Ca x Mg	4	0.0349	0.1668**	0.0156	0.0027	0.0041
K x Ca x Mg	8	0.0418	0.0900	0.0195	0.0014	0.0038
Resíduo	27	0.0326	0.0129	0.0087	0.0025	0.0018
Média geral		1,29	2,42	0,67	2,47	0,48
CV(%)		13,95	4,67	13,93	2,04	8,83

Tabela 7. Análise da variância do peso da matéria seca (g/vaso) e das concentrações de micronutrientes (ppm) nas plantas de caupi, em função dos tratamentos aplicados.

Causas de variação	G.L.	Q.M.				
		Matéria seca	Ferro	Manganês	Zinco	Cobre
K	2	37.3156**	10.9629	50.9629	11.9074	0.0288
Ca	2	19.5637**	801.4074**	236.9629*	329.0185**	1.0466**
Mg	2	8.6357**	346.0740**	37.8518	868.1296**	0.0088
K x Ca	4	10.3720**	132.7407**	65.9629	45.5185	0.0322
K x Mg	4	9.3198**	12.8518	12.5185	4.6296	0.0244
Ca x Mg	4	4.5680**	45.5185	29.1851	35.2407	0.4288**
K x Ca x Mg	8	12.6630**	16.8148	16.1851	43.9907	0.0527
Resíduo	27	0.4958	152.7400	24.0000	18.1666	0.0258
Média Geral		25,16	2,68	128,0740	42,87	3,04
CV(%)		2,79		3,82	9,94	5,28

Tabela 8. Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função dos tratamentos aplicados.

Doses de K	Doses de Ca	Doses de Mg		
		1	2	3
1	1	25,40a	24,91a	24,15a
	2	28,52a	24,52b	24,00b
	3	19,70b	22,61a	24,15a
2	1	28,70a	28,00a	28,00a
	2	23,00b	26,50a	27,70a
	3	21,53b	30,00a	28,00a
3	1	22,87a	25,70a	24,41a
	2	24,60a	26,50a	26,39a
	3	25,00a	26,51b	23,19ab

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 9. Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função das doses de potássio e cálcio aplicadas no solo.

Doses de K	Doses de Ca		
	1	2	3
1	24,82a	25,68a	22,15a
2	28,23a	25,73b	26,51b
3	24,32b	25,83a	23,23b

Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10. Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função das doses de potássio e magnésio aplicadas no solo.

Doses de K	Doses de Mg		
	1	2	3
1	24,54a	24,01b	24,10b
2	24,41b	28,17a	27,90a
3	24,15b	24,57a	24,63a

Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11. Produção de matéria seca (g/vaso) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio e magnésio aplicadas no solo.

Doses de Ca	Doses de Mg		
	1	2	3
1	25,65a	26,20a	25,52a
2	25,37a	25,84a	26,03a
3	22,07b	24,70a	25,13a

Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 1. Curvas de regressão dos pesos da matéria seca (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio.

Figura 2. Curvas de regressão dos pesos da matéria seca (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio.

A maior produção de matéria seca é para a dose 2 de potássio (0,3 meq/100 g de solo), com a dose 2 de magnésio (1,0 meq/100 g de solo). Esta produção foi reduzida nas doses 1 e 3 de potássio, diante de quaisquer das dosagens de magnésio e, estas médias obtidas não apresentaram diferenças significativas.

As produções de matéria seca em função das doses de magnésio em interação com as doses de cálcio no solo, constam da **Figura 3**. Com a dose Ca_3 as médias de matéria se ca crescem com o aumento das dosagens de magnésio.

As maiores médias de produção foram conseguidas com as doses Ca_1 e Ca_2 . Entretanto, essas médias não apresentaram diferenças entre si, não havendo, portanto efeito das doses de magnésio.

SCHUNKE (1980) encontrou resposta positiva de produção de matéria seca em plantas forrageiras submetidas a doses crescentes de potássio e cálcio.

A análise da **Tabela 8**, onde constam as médias de produção de matéria seca em função das doses de potássio, cálcio e magnésio aplicadas no solo e das seguintes equações de regressão que representam os efeitos das interações entre aqueles elementos, permite várias observações:

Figura 3. Curvas de regressão dos pesos da matéria seca (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com cálcio.

$$K(Ca_1Mg_2) \quad Y = -8,57 + 261,12x - 456,25x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$K(Ca_1Mg_2) \quad Y = 2,52 + 165,90x - 270,00x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$K(Ca_1Mg_3) \quad Y = 5,87 + 224,50x - 372,00x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$K(Ca_2Mg_1) \quad Y = 60,92 - 233,20x + 356,00x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$K(Ca_2Mg_2) \quad Y = 22,87 + 9,89 \quad r^2 = 0,75$$

$$K(Ca_2Mg_3) \quad Y = 1,56 + 162,25x - 250,50x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$K(Ca_3Mg_1) \quad Y = 14,12 + 26,49x \quad r^2 = 0,96$$

$$K(Ca_3Mg_2) \quad Y = 39,80 + 470,89x - 793,99x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$K(Ca_3Mg_3) \quad Y = 9,53 + 255,00x - 433,00x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$Ca(K_1Mg_1) \quad Y = 16,65 + 32,96x - 5,96x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$Ca(K_1Mg_2) \quad Y = 27,46 - 1,14x \quad r^2 = 0,87$$

$Ca(K_1Mg_3)$ não significativa

$$Ca(K_2Mg_1) \quad Y = 52,79 - 16,27x + 2,11x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$Ca(K_2Mg_2) \quad Y = 46,00 - 14,00x + 2,50x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$Ca(K_2Mg_3)$ não significativa

$$Ca(K_3Mg_1) \quad Y = 20,97 + 1,06x \quad r^2 = 0,88$$

$$Ca(K_3Mg_2) \quad Y = 6,66 + 15,31x - 2,90x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$Ca(K_3Mg_3) \quad Y = 4,91 + 14,93x - 2,59x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$Mg(K_1Ca_1)$ não significativa

$$Mg(K_1Ca_2) \quad Y = 61,39 - 64,71x - 27,83x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$Mg(K_1Ca_3) \quad Y = 13,25 + 8,89x \quad r^2 = 0,96$$

$Mg(K_2Ca_1)$ não significativa

$$Mg(K_2Ca_2) \quad Y = 16,33 + 9,40x \quad r^2 = 0,92$$

$$Mg(K_2Ca_3) \quad Y = -66,70 + 180,46x - 83,76x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$Mg(K_3Ca_1) \quad Y = -10,13 + 68,58x - 32,75x^2 \quad r^2 = 1,00$$

$$Mg(K_3Ca_2) \quad Y = 22,25 + 3,57x \quad r^2 = 0,70$$

$$Mg(K_3Ca_3) \quad Y = 66,48 - 86,33x + 41,35x^2 \quad r^2 = 1,00$$

O tratamento $K_2Ca_3Mg_2$ produziu o máximo de rendimento de matéria seca.

A dose máxima de potássio diminuiu a produção quando aplicada diante das doses 2 e 3 de magnésio e na presença de cálcio.

Não houve diferença significativa entre as médias de produção de matéria seca obtidas quando foi aplicada a dose 1 de cálcio na presença de potássio e magnésio. Idêntico efeito ocorreu com a aplicação da dose 2 de cálcio, diante do nível 3 de potássio e na presença de magnésio.

A produção foi deprimida com a aplicação da dose 3 de magnésio na presença das doses 2 e 3 de potássio e diante de qualquer das doses de cálcio.

A dose 3 de magnésio quando aplicada juntamente com as doses 1 e 2 de potássio e na presença de cálcio, não aumentou significativamente a produção de matéria seca.

Diversos autores concordam que o potássio, o cálcio e o magnésio podem interagir e influenciar a produção das culturas.

TENÓRIO (1980) reporta o aumento da produção de matéria seca das folhas de caupi, provocado pela interação $K \times Ca \times Mg$.

Trabalhando com caupi, PEREIRA (1980) não observou efeito de níveis crescentes de cálcio e magnésio sobre a produção de matéria seca de caupi.

4.2. CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA MATÉRIA SECA

4.2.1. Potássio

As concentrações de potássio na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio aplicadas no solo, são apresentadas na **Tabela 12**. Observa-se que houve resposta à adubação potássica.

Tabela 12. Concentração de potássio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio aplicadas no solo.

Doses de K	K (%) na matéria seca
1	1,12c
2	1,27b
3	1,48a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

A absorção de potássio cresceu com o aumento da adubação com este elemento. Idênticos resultados encontrados por FAQUIN (1982) e TENÓRIO (1981), trabalhando, respectivamente, com milho e caupi, mostram que estas plantas respondem a dose de K aplicada e que diferem da soja em trabalho feito por YAMADA (1980), onde constatou não haver influência de doses crescentes de potássio aplicado em Latossolo Roxo com 48 ppm de K^+ trocável, sobre os teores foliares.

Os dados de concentração de potássio nos tecidos das plantas, como uma função linear crescente das doses do elemento no solo, são ilustradas na Figura 4.

4.2.2. Cálcio

As médias gerais da concentração de cálcio nos tecidos das plantas, em função, respectivamente, das interações potássio x magnésio e cálcio x magnésio no solo, mostram que a melhor aplicação de potássio é a K_1 combinadas com a maior dose de magnésio (Tabelas 13 e 14).

Nas doses 2 e 3 de K não houve interferência das dosagens de magnésio no solo, sobre a concentração de cálcio nas plantas. Com a dose K_1 , a absorção de cálcio obedece a uma curva de regressão do 2º grau, onde a maior acumulação se deu no tratamento $K_1 Mg_3$, conforme mostra a Figura 5.

Figura 4. Curvas de regressão dos teores de potássio (Y) e magnésio (Y) das plantas de caupi, em função das doses de potássio aplicadas no solo (X).

Tabela 13. Concentração de cálcio (%) nas plantas de caupi, em função das doses de potássio e magnésio aplicadas no solo.

Doses de K	Doses de Mg		
	1	2	3
1	2,33b	2,33b	2,67a
2	2,41a	2,43a	2,42a
3	2,38a	2,42a	2,44a

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14. Concentração de cálcio (%) nas plantas de caupi, em função das doses de cálcio e magnésio aplicadas no solo.

Doses de Ca	Doses de Mg		
	1	2	3
1	2,38a	2,47a	2,50a
2	2,25b	2,20b	2,66a
3	2,49a	2,51a	2,37a

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

As curvas de regressão para a concentração de cálcio, em função das doses de cálcio e magnésio no solo, são ilustradas na **Figura 6**.

Figura 5. Curvas de regressão dos teores de cálcio (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio.

Figura 6. Curvas de regressão dos teores de cálcio (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com cálcio.

Os dados de concentração de cálcio em função das doses de Ca_1 e Ca_3 aplicadas no solo, não se ajustaram a nenhuma função estudada, entretanto, diante do nível Mg_1 ou Mg_2 , os melhores resultados ocorreram com a dose Ca_3 . Diante da maior aplicação de magnésio no solo (Mg_3) o melhor desempenho na absorção de cálcio foi obtido com a dose 2 de cálcio.

De um modo geral, o aumento do teor de magnésio, diante de cálcio ou de potássio, não incrementou a absorção de cálcio pelas plantas. Do mesmo modo, o aumento do teor de cálcio ou de potássio no solo, dentro das doses de magnésio, não influenciou positivamente na concentração do primeiro na planta.

O efeito da aplicação de $CaCO_3$ na maior des sorção do potássio do complexo coloidal pode ser explicado pelo efeito do íon complementar. Nas cargas negativas do solo, neutralizadas por cátions cuja energia de ligação é diferente, há a tendência de liberar os cátions de menor energia de ligação; neste caso, o solo liberaria primeiro o potássio para depois liberar o cálcio e o magnésio. As adubações com potássio podem diminuir a absorção de cálcio e magnésio, fato constatado por CHANDLER (1974).

TENÓRIO (1981) observou redução dos teores de cálcio na matéria seca de plantas de caupi, pela adição de potássio ou magnésio na presença de cálcio, na solução nutritiva. Resultados semelhantes foram encontrados por STEWARD & REED (1969).

Segundo MAAS (1969), o efeito inibitório do potássio na absorção do cálcio, se deve, provavelmente, ao efeito competitivo entre esses dois elementos.

SCHUNKE (1980) encontrou que a interação potássio x cálcio aumentava o teor do último elemento em forrageiras leguminosas.

4.2.3. Magnésio

A concentração do magnésio na matéria seca das plantas foi afetada pelas quantidades de potássio aplicadas no solo, conforme os dados constantes da Tabela 15. Observa-se o efeito antagônico do potássio sobre a absorção do magnésio.

Tabela 15. Concentração de magnésio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio aplicadas no solo.

Doses de K	Mg (%) na matéria seca
1	0,69ab
2	0,70a
3	0,62b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes foram encontrados por STEWART & REED (1969) e STAMFORD & NEPTUNE (1979), ambos trabalhando com caupi em condições de solo.

MALAVOLTA (1967) e MENGEL et alii (1976) afirmam que altas concentrações de potássio no substrato reduzem a absorção de magnésio pelas plantas.

De acordo com DIJKSHOORN et alii (1974), o fenômeno de antagonismo entre potássio e magnésio estaria relacionado com a competição entre esses íons pelos mesmos sítios ativos de absorção, sendo o potássio um competidor com maior eficiência.

A concentração de magnésio nas plantas de caupi estudadas decresce com o aumento da adubação potássica, conforme se observa na **Figura 4**. A dose 1 de K no solo (0,2 meq/100 g de solo) promoveu a maior concentração do magnésio nas plantas.

4.2.4. Nitrogênio

O aumento do cálcio no solo diminuiu a concentração de nitrogênio nas plantas (**Tabela 16**). SCHUNKE (1980) observou diminuição da concentração de nitrogênio em leguminosas forrageiras, com a adição de 200 ppm de cálcio em condição de vaso. Efeito depressivo na concentração de nitrogênio em plantas de caupi, pela aplicação de cálcio, também foi constatado por TENÓRIO (1981) em trabalho com vaso.

Tabela 16. Concentração de nitrogênio (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo.

Doses de Ca	N (%) na matéria seca
1	2,51a
2	2,46b
3	2,45b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

A regressão obtida para a concentração de nitrogênio nas plantas em função das doses de cálcio aplicadas no solo, consta na **Figura 7**. O comportamento traduzido por uma equação linear decrescente, demonstra que no nível Ca₁ ocorreu a concentração máxima de nitrogênio na planta. Provavelmente, a alta atividade do Ca no solo prejudicou a absorção do N. MALAVOLTA (1980) encontrou redução da absorção de N por mudas de tomateiro, quando o pH era maior que 7.

4.2.5. Fósforo

Observa-se que a concentração de fósforo na planta foi deprimida com os níveis crescentes de cálcio e de magnésio, isoladamente, conforme dados das **Tabelas 17 e 18**. Idênticos resultados foram encontrados por TENÓRIO (1981). Provavelmente, em condições de alta atividade de cálcio no solo, há formação de fosfatos tricálcicos que não são absorvidos pelas plantas.

Figura 7. Curvas de regressão dos teores de nitrogênio (Y) e fósforo (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X).

Tabela 17. Concentração de fósforo (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo.

Doses de Ca	P (%) na matéria seca
1	0,51a
2	0,46b
3	0,46b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 18. Concentração de fósforo (%) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo.

Doses de Mg	P (%) na matéria seca
1	0,50a
2	0,47ab
3	0,46b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Diversos autores enfatizam o aumento da absorção de P pela aplicação de CaCO_3 (UDO & UZU, 1972; AMARASARI & OLSEN, 1973 e LOPEZ-HERNANDEZ & BURNHAM, 1974), enquanto outros (LUTZ et alii, 1966; FARINA et alii, 1980 e RHUE & HENSEL, 1983) citam o efeito adverso da aplicação de CaCO_3 sobre a absorção de fósforo.

Por sua vez, ALVAREZ VENEGAS (1974) e LIMA (1981) observaram que a adição de CaCO_3 no solo não influenciou a quantidade de fósforo absorvida pela planta.

A absorção de fósforo pelo caupi foi influenciada pelas adubações com Ca e Mg (**Figuras 7 e 8**), sendo as doses Ca₁ (2,0 meq/100 g de solo) e Mg₁ (0,75 meq/100 g de solo) as melhores para obtenção da maior concentração de fósforo nos tecidos das plantas.

O aumento da dose de qualquer um daqueles elementos no solo, provoca a diminuição dos teores de fósforo nas plantas.

4.2.6. Ferro

A concentração de ferro nos tecidos das plantas, sofreu efeito isolado das doses de cálcio e magnésio aplicadas no solo (**Tabelas 19 e 20**).

Os efeitos da interação potássio x cálcio, sobre a absorção do ferro pelas plantas, são mostrados na **Tabela 21**.

Tabela 19. Concentração de ferro (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo.

Doses de Ca	Fe (ppm) na matéria seca
1	160,44a
2	149,00b
3	148,78b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 8. Curva de regressão dos teores de fósforo (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X).

Tabela 20. Concentração de ferro (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo.

Doses de Mg	Fe (ppm) na matéria seca
1	157,78a
2	150,67b
3	147,78b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 21. Concentração de ferro (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de potássio e cálcio aplicadas no solo.

Doses de K	Doses de Ca		
	1	2	3
1	166,00a	148,33b	143,66b
2	158,00a	151,00a	151,66a
3	157,33a	147,66b	151,00ab

Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Os aumentos dos teores de cálcio ou de magnésio, isoladamente, deprimiram a absorção de ferro pelas plantas. Do mesmo modo, o aumento das doses de potássio dentro das doses de cálcio, e vice-versa, teve efeito negativo na concentração de ferro na matéria seca.

Diversos autores confirmam o efeito do CaCO_3 sobre a perda de disponibilidade de vários micronutrientes, inclusive ferro (MALAVOLTA, 1967 e MELLO et alii, 1985).

MALAVOLTA (1978) cita que, mesmo nas variedades mais resistentes, altos teores de cálcio na planta inativa o ferro.

Em ensaios com caupi, TENÓRIO (1981) observou diminuição dos teores de ferro nas plantas, ao aplicar 234 ppm de K na presença de níveis crescentes de cálcio na solução nutritiva.

Os efeitos competitivos do potássio, cálcio e magnésio, sobre a absorção do ferro, são reportados por LINGLE et alii (1963) e MENGEL & KIRKBY (1978).

As regressões obtidas para a concentração de ferro, em função das doses de cálcio e de magnésio aplicadas no solo, respectivamente, são exibidas nas **Figuras 9 e 10**. Em ambos os casos, os dados se ajustam a uma função do 2º grau.

As curvas de regressão dos teores de ferro em função da interação K x Ca, encontram-se na **Figura 11**.

4.2.7. Manganês

O efeito isolado do cálcio sobre a absorção de manganês pelas plantas, encontra-se na **Tabela 22**. A redução do acúmulo desse elemento no tecido das plantas ocorreu com a maior dose de cálcio no solo (4,0 meq/100 g de solo).

Figura 9. Curvas de regressão dos teores de ferro (Y), manganês (Y) e zinco (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X).

Figura 10. Curvas de regressão dos teores de ferro (Y) e zinco (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X).

Figura 11. Curvas de regressão dos teores de ferro (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com potássio.

Tabela 22. Concentração de manganês (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo.

Doses de Ca	Mn (ppm) na matéria seca
1	130,00a
2	130,33a
3	123,88b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

BORKERT (1973) constatou que a aplicação de CaCO_3 no solo, reduziu drasticamente os teores de Mn trocáveis no solo, correspondendo em acentuada diminuição do elemento no tecido das plantas de soja.

O antagonismo existente entre o cálcio e diversos micronutrientes, inclusive o manganês, foi relatado por MALAVOLTA (1967).

Os dados de concentração de manganês em função das doses de cálcio são representados por uma curva de regressão do 2º grau, na Figura 9.

4.2.8. Zinco

As concentrações de zinco nas plantas de caupi foram afetadas pelas doses de cálcio e magnésio, isoladamente, conforme mostram as Tabelas 23 e 24.

Tabela 23. Concentração de zinco (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo.

Doses de Ca	Zn (ppm) na matéria seca
1	46,22a
2	44,33a
3	38,05b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 24. Concentração de zinco (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo.

Doses de Mg	Zn (ppm) na matéria seca
1	50,88a
2	38,77b
3	38,94b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

O aumento das doses de cálcio ou de magnésio deprimiram a absorção de zinco na matéria seca. Trabalhando com trigo em solução nutritiva, CHAUDRY & LONERAGAN (1972) observaram que o cálcio e o magnésio inibiam a absorção do zinco.

PEREIRA (1980) relata que a concentração de zinco em plantas de sorgo e de caupi decresceram em relação à atividade do cálcio e do magnésio do solo.

As curvas de regressão para as concentrações do zinco em função das doses de cálcio e de magnésio no solo, respectivamente, são ilustradas nas Figuras 9 e 10.

4.2.9. Cobre

Na Tabela 25 observa-se o efeito isolado das doses de cálcio aplicadas no solo, sobre a concentração de cobre nas plantas, enquanto a Tabela 26 mostra o efeito da interação cálcio x magnésio.

Tabela 25. Concentração de cobre (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo.

Doses de Ca	Cu (ppm) na matéria seca
1	3,32a
2	2,88b
3	2,92b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 26. Concentração de cobre (ppm) na matéria seca das plantas de caupi, em função das doses de magnésio e cálcio aplicadas no solo.

Doses de Ca	Doses de Mg		
	1	2	3
1	3,60a	3,26b	3,10b
2	3,06a	2,90ab	2,70b
3	2,63b	3,06a	3,06a

Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade.

Isoladamente, o aumento do teor de cálcio no solo provocou a redução do teor de cobre no tecido da planta.

Aumentando-se a dose de magnésio no solo, diante das diferentes dosagens de cálcio, ocorreu a diminuição do teor de cobre nas plantas, exceto na dose Ca_3 que apresentou resultados não consistentes.

MALAVOLTA (1967), já mencionado, afirma que o cálcio e o magnésio exercem efeito antagônico sobre a absorção do cobre.

A curva de regressão do 2º grau que representa as médias de concentração de cobre em função das doses de cálcio no solo, é mostrada na **Figura 12**. Na **Figura 13** estão contidas as curvas de regressão que representam os teores de cobre nas plantas, afetadas pela interação cálcio x magnésio no solo.

Figura 12. Curva de regressão dos teores de cobre (Y) das plantas de caupi, em função das doses de cálcio aplicadas no solo (X).

Figura 13. Curvas de regressão dos teores de cobre (Y) das plantas de caupi, em função das doses de magnésio aplicadas no solo (X), na presença dos diversos tratamentos com cálcio.

5. CONCLUSÕES

5.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

A produção máxima de matéria seca foi obtida com as seguintes doses de potássio, cálcio e magnésio no solo: 0,3; 4,0 e 1,00 meq/100 g de solo.

As aplicações de potássio, cálcio ou magnésio na dose máxima, respectivamente, 0,4; 4,0 e 1,25 meq/100 g de solo, reduziu a produção de matéria seca.

O cálcio na dose 1 (2,0 meq/100 g de solo) na presença de potássio e magnésio e na dose 2, diante do nível máximo de potássio (0,4 meq/100 g de solo) e de quaisquer dos níveis de magnésio, não proporcionou diferenças significativas entre as médias de produção de matéria seca.

A produção de matéria seca sofreu efeito de interações com potássio, cálcio e magnésio.

5.2. CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

O efeito das doses de potássio aplicadas no so

lo provocou aumento da concentração do elemento em questão nas plantas e diminuiu a absorção de magnésio.

A aplicação de cálcio no solo reduziu a concentração de nitrogênio, fósforo, ferro, manganês, zinco e cobre.

Os efeitos das doses de magnésio no solo foram de aumento da concentração de cálcio nas plantas e redução dos teores de fósforo, ferro, zinco e cobre.

O efeito da interação potássio x cálcio diminuiu a absorção de ferro pelas plantas.

A interação potássio x magnésio deprimiu a concentração de cálcio nas plantas.

O cálcio e o magnésio, interagindo, diminuíram a concentração de cálcio e de cobre nos tecidos das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAPETU, J.A. & AKAPA, L.K. Root growth and uptake characteristics of some cowpea varieties. **Agronomy Journal**, Madison, 69: 940-3, 1977.
- ADDISCOTT, T.M. Potassium and the absorption of calcium and magnesium by potato plants from soil. **J. Sci. Ed. Agric.**, London, 25: 1165-72, 1974.
- ALVAREZ VENEGAS, V.H. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais. Viçosa, 1974. 125p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- AMARASARI, S.L. & OLSEN, S.R. Liming as related to solubility of phosphorus and plant growth in acid tropical soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, 37(5): 716-21, 1973.
- ARANTES, E.M. Efeito da relação Ca/Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de matéria seca, concentração de K, Ca e Mg e equilíbrio catiônico do milho (*Zea mays* L.). Lavras, 1983. 62p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura de Lavras).
- ARNON, I. Mineral nutrition of maize. Bern, International Potash Institute, 1976. 452p.

- BEN, J.R. Efeito da calagem no comportamento dos elementos alumínio, cálcio, magnésio e potássio no solo e relação dos mesmos na planta. Santa Maria, 1974. 65p. (Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria).
- BESEDIN, P.N. Effect of various ratios of absorbed Ca and Mg on some properties of serozens and plant yields. *Soil and Fertilizers*, Harpender, 29: 27, 1966.
- BORKERT, C.M. Efeito do calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos Oxissolos-Santo Angelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e rendimento de duas cultivares de soja. Porto Alegre, 1973. 96p. (Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- BOSWELL, F.S. & PARKS, W.L. The effect of soil potassium levels on yield lodging and mineral composition of corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 21: 301-5, 1957.
- BRAGA, J.M. Princípios básicos de química do solo. Viçosa, UFV, 1978. 180p. (apostila).
- BRASIL. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas - Comissão de Solos. Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, CNEPA/MA, 1960. 605p.
- CHANDLER, J.V. Manejo intensivo de pastos y forragens en Puerto Rico. In: BORNEMIZA, E. & ALVARADO, A. ed. Manejo del suelo en la America tropical. Cali, University Consortium on Soils of the Tropics, 1974. 582p.

- CHAUDHRY, F.M. & LONERAGAN, J.F. Zinc absorption by wheat seedlings: I. Inhibition by macronutrients ions in short-term experiments and its relevance to long-term zinc nutrition. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **36**: 323 - 7, 1972.
- COELHO, F.S. & VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.
- DANTAS, J.P. Nutrição mineral em feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Endl.). Piracicaba, 1978. 121p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").
- DEFELIPO, B.C. Teores de potássio em solo de Piracicaba e estabelecimento de seu nível crítico. Piracicaba, 1974. 98p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").
- DEROK, P.C. The physiological significance of the potassium, calcium relationship in plant growth. **Outlook on Agriculture**, London, **4**: 93-5, 1964.
- DIJKSHOORN, W.; SUJTINO, J.S.A.; ISMUNADJI, M. Potassium uptake by rice plants and interaction with other cations. **Plant and Soil**, The Hague, **40**: 525-34, 1974.
- EVANS, E. Studies in the mineral nutrition of sugarcane in British Guiana. II. The mineral status of sugarcane as revealed by foliar analysis. **Tropical Agriculture**, Guildford, **32**(4): 295-322, 1955.
- EVANS, H.J. Elements other nitrogen, potassium and phosphorus in the mineral nutrition of sugar cane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE, 10, Honolulu, 1959. **Proceedings**. Honolulu, 1959. p.473-508.

- FAQUIN, V. Efeito do tratamento térmico do sienito nefelínico adicionado de calcário dolomítico na disponibilidade de potássio ao milho (*Zea mays* L.) em casa de vegetação. Piracicaba, 1982. 115p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").
- FARINA, M.P.W.; SUMNER, M.E.; PLANCK, C.O.; LETZSCH, W.S. Exchangeable aluminium and pH as indicators of lime requirement for corn. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **44**: (5): 1036-41, 1980.
- FASSBENDER, H.W. *Química de suelos*. Turrialba, IICA, 1975. 398p.
- FOY, C.D. & BARBER, S.A. Magnesium deficiency and corn yield on two acid Indiana soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **22**: 145-8, 1958.
- FUZATO, M.G. & FERRAZ, C.A. Correlação entre o efeito da adubação potássica no algodoeiro e a análise química do solo. *Bragantia*, Campinas, **26**: 345-52, 1967.
- GUTIERREZ, H.C. Contribuição ao significado fisiológico da relação Ca/K em gergelim (*Sesamum indicum* L.). Piracicaba, 1968. 46p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").
- HANDLEY, R.; METWALLY, A.; OVERSIREET, R. Effects of Ca upon metabolic and nonmetabolic uptake of Na and Rb by root segments of *Zea mays*. *Plant Physiology*, Kutztown, **40**: 513-9, 1965.
- HOSSNER, L.R. & DOLL, E.C. Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. *Soil Sci. So. Am. Proc.*, Madison, **34**: 772-3, 1970.

- JASLOWSKI, Z. Effect of different magnesium contents in liming materials on some soil properties and on CaO and MgO uptake by oats. *Soil and Fertilizers*, Harpenden, 33 (6): 608, 1970.
- KEY, J.L.; KURTZ, L.T.; TUCKER, B.B. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybean and corn. *Soil Science*, Baltimore, 93(4): 265-74, 1962.
- KILMER, V.J. & ALEXANDER, L.T. Method of making mechanical analysis of soils. *Soil Science*, Baltimore, 68: 15 - 26, 1949.
- KRAUSE, H.H. Effect of pH on leaching losses of potassium applied to forest nurse soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 29(5): 613-5, 1965.
- LACA BUENDIA, J.P. & NEPTUNE, A.M.L. Adubação foliar do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) var IAC-12, com nitrogênio, fósforo e potássio avaliada pela diagnose foliar. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, 28: 5-30, 1971.
- LAROCHE, F.A. Efeitos da calagem sobre o complexo de troca de um Latossolo tropical e os teores de cátions absorvidos pelo tomate. Recife, SUDENE, 1967. 80p. (Brasil, SUDENE, Agricultura 9).
- LIMA, J.A. Efeito das relações Ca/Mg e (Ca+Mg)/K na correção da acidez de dois Latossolos e sobre a produção de matéria seca do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill) v. "Kada". Viçosa, 1979. 34p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

- LIMA, E. Resposta do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench ao emprego de fontes e doses de fósforo em condições de casa de vegetação. Piracicaba, 1981. 107p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").
- LINGLE, J.C.; TIFFIN, L.O.; BROWN, J.C. Iron uptake transport of soybeans as influenced by other cations. *Plant Physiology*, Lancaster, **38**(1): 71-6, 1963.
- LÓPEZ-HERNANDEZ, D. & BURNHAM, C.P. The effect of pH on phosphate adsorption in soils. *Journal of Soil Science*, London, **25**(2): 207-16, 1974.
- LOUE, A. Contribuição para o estudo da nutrição catiônicas do milho, principalmente a do potássio. *Fertilité*, Paris, **20**: 33-50, 1969.
- LUCAS, R.E. & SCARSETH, G.D. Potassium, calcium and magnesium balance and reciprocal relationships in plants. *J. Amer. Soc. Agro.*, Washington, **39**: 887-96, 1947.
- LUTZ, J.F.; PINTO, R.A.; GARCIA-LAGOS, R.; HILTON, H.G. Effect of phosphorus on some physical properties of soil. II. Water retention. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **30**(4): 433-7, 1966.
- MAAS, E.V. Calcium uptake by excized maize roots and interactions with alkali cations. *Plant Physiology*, Lancaster, **44**: 985-9, 1969.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: adubos e adubações*. 2.ed. São Paulo, Ceres, 1967. 606p.

- MALAVOLTA, E. Absorção de cálcio e fósforo por raízes destacadas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) var. IAC-2. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, **33**: 543-54, 1976a.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo, Ceres, 1976b. 528p.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da soja**. Ultrafértil, Dep. Serv. Téc. Agron., 5º trabalho da Série, 1978. 40p.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo, Ceres, 1979. 256p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, 1980. 251p.
- McLEAN, E.O. & CARBONEL, M.D. Calcium, magnesium and potassium saturations ratios in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of German millet and alfafa. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **36**: 927-30, 1972.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J.C. **Fertilidade do solo**. 3.ed. São Paulo, Nobel, 1985. 400p.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern, International Potash Institute, 1978. 592p.
- MENGEL, K.; VIRO, M.; HEHL, G. Effect of potassium on uptake and incorporation of ammonium nitrogen of rice plants. **Plant and Soil**, The Hague, **44**: 547-58, 1976.
- MIRANDA, L.T. Resultados de experimentos de adubação e sugestões para a interpetação baseada na análise química do solo. In: **CULTURA E ADUBAÇÃO DO MILHO**. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1966. p.451-72.

- MOORE, D.P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interaction with calcium in excised barley roots. *Plant Physiology*, Rockville, 36(3): 290-5, 1961.
- MORAIS, F. & CABALA, F.P. Efeito dos equilíbrios entre cálcio, magnésio e potássio no crescimento do cacauzeiro. *Revista Theobroma*, Ilhéus, 1(3): 21-32, 1971.
- MUNSON, R.D. Interaction of potassium and other ions. In: KILMER, V.J.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C. ed. *The role of potassium in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1968. p.321-53.
- OMAR, M.A. & EL KOBIA, T. Some observations on the interrelationships of potassium and magnesium. *Soil Science*, Baltimore, 101: 437-40, 1966.
- OVERSTREET, R.; JACOBSON, L.; HANDLEY, R. The effect of calcium on the absorption of potassium by barley roots. *Plant Physiology*, Kutztown, 27: 583-90, 1952.
- PEIXOTO, A.P. Efeitos de cálcio, magnésio e potássio e suas relações na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), em um solo Gley Pouco Húmico do norte Fluminense. Viçosa, 1980. 48p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- PEREIRA, J.R. Efeito de diferentes níveis de cálcio e magnésio sobre algumas propriedades químicas do solo, crescimento e composição mineral do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e do vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Piracicaba, 1980. 123p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 5. ed. São Paulo, Nobel, 1973. 530p.

POLTRONIERI, L.S. **Avaliação regional de cultivares de caupi de porte ereto e ramador na Transamazônica - Pará**. Belém, 1983. 16p. (EMBRAPA-UEPAE Altamira - Circular, 05).

RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. **Carta de solos do município de Piracicaba**. Piracicaba, ESALQ/Centro de Estudos de Solos, 1966. 85p.

RHUE, R.D. & HENSEL, D.R. The effect of lime on the availability of residual phosphorus and its extractibility by dilute acid soil. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, **47** (2): 266-70, 1983.

ROBERTS, S. & WEAVER, W.H. Magnesium accumulation and mineral balance in sudangrass as influenced by potassium, calcium and sodium. **Comm. Soil Sci. Plant. Anal.**, **5**(4): 302-12, 1974.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção do sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **19**(12): 1443-8, 1984.

SANCHEZ CONDE, M.P.S. Evaluación de la interacción Ca-K en plantas de lechuga de diferente desarrollo. **Agrochimica, Pisa**, **24**(4): 330-57, 1980.

SANTOS, J.Q. & CABRAL, F.M. La respuesta del trébol de Alejandria (*Trifolium alexandrinum* L.) ante el encalado y el potasio. **Revista de la Potassa**, Berna, **7**(5): 1-3, 1982.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba, ESALQ, 1974. 55p.

SCHUNKE, M.S. Crescimento e composição química da *Galactia striata* (Jacqu.) Urb. em função do boro, potássio, cálcio e magnésio. Piracicaba, 1980. 96p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").

SFREDO, G.J. Efeito das relações entre Ca e Mg sobre o pH, Al^{+++} e Mg^{++} no solo e sobre a produção de matéria seca do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). Viçosa, 1976. 61p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

SILVA, J.E. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento do milho em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 15(3): 329-33, 1980.

SOARES, E. Influência da relação entre teores trocáveis de cálcio e magnésio do solo na absorção de potássio pelo centeio (*Secale cereale* L.). Piracicaba, 1975. 73p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").

SOARES, E. Influência do teor de potássio trocável do solo na absorção de cálcio e magnésio pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Piracicaba, 1978. 116p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").

SOUZA, M.J.D.; RITCHEY, K.D.; GOEDERT, W.J. Potássio em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 16, São Luiz, 1977.

- SPAIN, J.M.; FRANCIS, C.A.; HOWEIER, R.H.; CALVO, F. Diferencias entre espécies y variedades de cultivos y pastos tropicais en su tolerancia a la acidez del suelo. In: BORNE-MIZA, E. & ALVARADO, A. ed. **Manejo del suelo en la America tropical**. Cali, University Consortium on Soils of the Tropics, 1974. 582p.
- STAMFORD, N.P. & NEPTUNE, A.M.L. Efeitos do potássio, na presença de N-mineral, na nodulação, crescimento e absorção de nutrientes por *Vigna unguiculata*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17, 1979. **Resumos**. p. 26.
- STEWART, F.E. & DURZAN, D.B. Metabolism of nitrogeneous compounds. In: STEWARD, F.C., ed. **Plant physiology**, Lancaster, 1965. v. 4, p.376-686.
- STEWART, F.C. & PRESTON, L. The effect of salt concentration upon the metabolism of potato disc and the contrasted effect of potassium and calcium salt with have a common ion. **Plant Physiology**, Lancaster, 16: 85-115, 1941.
- STEWART, F.B. & REED, M. The effect of fertilization on yield, growth and mineral composition of southern peas. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, St. Joseph, **94**: 258-60, 1969.
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York, The MacMillan Co., 1969. 694p.
- TENÓRIO, Z. Crescimento e concentração de nutrientes e de sódio em *Vigna sinensis* (L.) Endl. "Seridô" cultivada em solução nutritiva com variação no fornecimento de potássio, cálcio, magnésio e sódio. Piracicaba, 1981. 84p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").

- UDO, E.J. & UZU, F.O. Characteristics of phosphorus adsorption by some Nigerian soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **36**(6): 879-82, 1972.
- USHERWOOD, N.R. Interação do potássio com outros íons. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1, Londrina, 1982. **Anais**. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)/Instituto Internacional da Potassa (Suíça), 1982. p.227-47.
- VIETS, F.G. Calcium and other polyvalent cation as accelerators of ion accumulation by exised barley roots. *Plant Physiology*, Kutztown, **19**: 466-80, 1944.
- WALKER, W.M. & PECK, J.R. Relation between corn yield and plant nutrient content. *Agronomy Journal*, Madison, **66**: 253-6, 1974.
- WATANABE, F.S.; OLSEN, S.R.; COLE, C.U. Ionic balance and growth of five plants species in four soils. *Agronomy Journal*, Madison, **63**: 23-8, 1971.
- YAMADA, T. Doses e métodos de distribuição de cloreto de potássio na cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em Latossolo Roxo, influindo na salinidade, produção e composição química das folhas. Piracicaba, 1980. 72p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").