

CARLOS HISSAO KURIHARA

NUTRIÇÃO MINERAL E CRESCIMENTO DA SOJA SOB
INFLUÊNCIA DO EQUILÍBRIO ENTRE Ca, Mg, e K

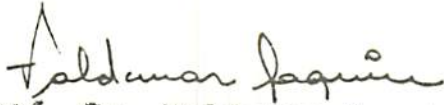
Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS


1991

NUTRIÇÃO MINERAL E CRESCIMENTO DA SOJA SOB INFLUÊNCIA
DO EQUILÍBRIO ENTRE Ca, Mg e K.

APROVADA:


Prof. Dr. Valdemar Faquin
Orientador


Dr. Clóvis Manuel Borkert


Dr. Gedi Jorge Sfredo

*Aos meus pais, Segueiochi e Nobuko,
que mesmo com sacrifício,
investiram na educação de seus filhos
por acreditarem ser essa a melhor
herança que podem lhes deixar.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, particularmente ao Departamento de Ciência do Solo, pelo acolhimento e oportunidade de realizar o curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Soja), pela possibilidade de conduzir o experimento em suas instalações, como parte do convênio de cooperação técnica firmado entre a ESAL e a EMBRAPA.

À CAPES e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos durante a realização do curso.

Ao Professor Dr. Valdemar Faquin (ESAL), aos Drs. Clóvis Manuel Borkert e Gedi Jorge Sfredo (EMBRAPA-CNPSO) e à Professora Dra. Janice Guedes de Carvalho (ESAL), pelo estímulo e colaborações e acima de tudo, pelo exemplo profissional.

Aos Professores, funcionários e colegas da ESAL, com os quais convivi e que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos colegas Solange Maria Rosa Coelho e Clóvis Roberto Hoffmann, pela valiosa colaboração na condução do experimento e sobretudo pela convivência e amizade.

Aos funcionários da EMBRAPA-CNPSO, especialmente Nestor Rioti Miura e Nelson Ávila Simão, pela colaboração nas análises de solo e tecido vegetal.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Exigências nutricionais da soja.....	03
2.2. Cálcio, magnésio e potássio nas plantas.....	04
2.3. Absorção iônica pelas raízes.....	09
2.4. Efeito do equilíbrio entre cálcio, magnésio e potássio.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Caracterização física e química do solo utilizado.....	19
3.2. Tratamentos e delineamento experimental.....	20
3.3. Instalação e condução do experimento.....	22
3.4. Análise química do tecido vegetal.....	24
3.5. Características avaliadas.....	24
3.6. Análise estatística.....	25

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Efeito dos tratamentos no solo.....	26
4.2. Crescimento e nutrição mineral da soja.....	31
4.3. Eficiência de utilização de cálcio, magnésio e potássio	59
5. CONCLUSÕES.....	64
6. RESUMO.....	65
7. SUMMARY.....	67
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
APÊNDICE.....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Caracterização física e química do solo utilizado no experimento.....	21
2	Quantidades de cálcio e magnésio aplicadas ao solo em diferentes relações Ca:Mg utilizadas no corretivo.....	22
3	Valores de pH (CaCl_2 0,01M) do solo em função das relações Ca:Mg no corretivo e período de incubação (média de 3 repetições)....	27

Quadro

Página

4	Teores trocáveis de Ca, Mg e K no solo antes do cultivo, em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas (médias de 12 repetições para relações Ca:Mg no corretivo e de 5 repetições para doses de K)..	28
5	Teores trocáveis de Ca, Mg e K no solo após o cultivo, em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas (médias de 4 repetições).....	30
6	Teor de N no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo.....	38
7	Coefficientes de correlação e níveis de significância para teor (‡) e acúmulo (mg/vaso) de Ca, Mg e K nas folhas, caule, parte aérea e raízes, em função dos seus teores trocáveis no solo obtidos antes e após o cultivo.....	46
8	Efeito dos tratamentos (fatorial) sobre o crescimento e nutrição em macronutrientes na soja.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Peso seco de folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	33
2	Peso seco de caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	34
3	Peso seco de parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	35
4	Peso seco de raízes em função das doses de K aplicadas.....	37

Figura		Página
5	Teor de N no caule em função das doses de K aplicadas.....	37
6	Teor de P no caule em função das doses de K aplicadas.....	40
7	Teor de P nas raízes em função das doses de K aplicadas.....	40
8	Teor (a) e acúmulo (b) de Ca nas folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	42
9	Teor (a) e acúmulo (b) de Ca no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	43
10	Teor (a) e acúmulo (b) de Ca na parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	44

Figura

Página

11	Teor de Ca nas raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	45
12	Teor (a) e acúmulo (b) de Mg nas folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	48
13	Teor (a) e acúmulo (b) de Mg no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	49
14	Teor (a) e acúmulo (b) de Mg na parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	50
15	Teor (a) e acúmulo (b) de K nas folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	52
16	Teor (a) e acúmulo (b) de K no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	53

Figura

Página

17	Teor (a) e acúmulo (b) de K na parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	54
18	Soma de cátions (meq Ca + Mg + K/100 g de tecido) nas folhas e parte aérea em função das doses de K aplicadas (a) e no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas (b)	56
19	Eficiência de utilização de Ca em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	61
20	Eficiência de utilização de Mg em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.....	63
21	Eficiência de utilização de K em função das doses de K aplicadas.....	63

1. INTRODUÇÃO

A correção da acidez é uma prática fundamental para o sucesso do cultivo de soja em solos ácidos, pelos seus efeitos na neutralização de elementos tóxicos, disponibilidade de nutrientes e melhoria da microbiota (PALHANO et al., 1984).

Entretanto, grande parte dos materiais corretivos utilizados nas lavouras paranaenses são provenientes da região sudeste do Estado, onde ocorrem depósitos de rochas calcárias constituídas de calcário dolomítico ou dolomitos quase puros (ABRAHÃO, 1985).

Assim, o uso contínuo de calcários com elevado teor de Mg e de fórmulas inadequadas de fertilizantes, sem um devido acompanhamento dos resultados da análise de solo, tem resultado na ocorrência de desbalanços nutricionais nas plantas em algumas regiões produtoras.

Este desequilíbrio, que também pode ser provocado pelo uso contínuo de calcário calcítico, pode induzir inibição na absorção de K, comprometendo a produtividade das plantas mesmo antes

destas manifestarem sintomas de deficiência.

No caso da soja em particular, a deficiência de K induzida não limita a produção apenas pela redução no crescimento da planta. Em condições de deficiência mais severa, verificam-se consideráveis perdas de grãos durante a colheita mecanizada, em virtude da ocorrência de desuniformidade de maturação das vagens e atraso na senescência da planta (haste verde e retenção foliar). Desse modo, diante das interações antagônicas existentes entre Ca, Mg e K no complexo de troca do solo, na absorção pelas raízes, bem como no metabolismo da planta, pode-se inferir que a obtenção de uma faixa de equilíbrio ideal entre os mesmos possibilitaria maior racionalização na adubação e na correção do solo.

Contudo, apesar dos diversos trabalhos já realizados quanto aos efeitos deste antagonismo sobre a nutrição e crescimento das plantas, poucas informações conclusivas são disponíveis em condições não limitantes destes nutrientes no solo.

Com base no exposto, realizou-se o presente estudo com o objetivo de avaliar o efeito do balanço entre Ca e Mg no corretivo e Ca, Mg e K no solo sobre a produção de matéria seca, na absorção e na eficiência de utilização destes nutrientes por plantas de soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Exigências nutricionais da soja

O acúmulo de nutrientes durante o desenvolvimento vegetativo, quando a disponibilidade no solo é suficiente, depende em grande parte do acúmulo de matéria seca pela planta (BATAGLIA & MASCARENHAS, 1982). Assim, fatores que afetam o crescimento da soja, tais como a latitude, o tipo de solo, o clima e a cultivar, influenciam a sua composição química (De MOOY et al., 1973).

Estimativas das quantidades de nutrientes extraídas pela cultura da soja e a remoção pelos grãos foram obtidas por BATAGLIA & MASCARENHAS (1977) e CORDEIRO et al. (1979). De acordo com estes autores, o N e o K são os nutrientes requeridos em maiores quantidades pela soja, seguidos de Ca, Mg, P e S. Entretanto, foi observado que cerca de 75 a 85% do Ca e 50 a 78% do Mg acumulado retorna ao solo nos restos da cultura, de modo

que a quantidade de nutrientes exportada pelos grãos segue a ordem: $N > K > P > Ca > Mg = S$.

Segundo BATAGLIA & MASCARENHAS (1982), a grande exigência da soja em N ressalta a importância da prática da calagem em solos ácidos. Através dela, não só são fornecidos o cálcio e o magnésio, mas também proporciona-se melhores condições de solo ao sistema simbiótico de fixação de N, através da elevação do pH, aumento da disponibilidade de P e Mo e redução da toxicidade de Al e/ou Mn.

2.2. Cálcio, magnésio e potássio nas plantas

O cálcio (Ca) é absorvido pelas raízes na forma iônica Ca^{2+} , sendo que o processo de absorção só ocorre no ápice de raízes novas, onde as paredes celulares da endoderme ainda não estão suberizadas (CLARKSON & SANDERSON, 1978). A maior parte do Ca absorvido é transportado no xilema, através de reações de troca com outros cátions. Nas células dos tecidos, o Ca forma sais cristalinos insolúveis em água, de modo que praticamente não há redistribuição em condições de deficiência (MALAVOLTA, 1980).

Uma das principais funções do Ca na planta é a estrutural, na qual o Ca forma pectatos na lamela média, conferindo rigidez à parede celular. O Ca também é responsável pela manutenção da integridade e do controle das características de permeabilidade das membranas, particularmente a plasmalema. Este elemento se

liga a dois grupos fosfatos da fração lipídica da membrana plasmática, ou então, satisfaz sítios aniônicos da fração protéica, diminuindo a sua permeabilidade à passagem de íons (CALDWELL & HAUG, 1982).

EPSTEIN (1975) cita que o Ca é essencial para que ocorra o processo de infecção dos pêlos absorventes de raízes de leguminosas por bactérias do gênero *Rhizobium*. O Ca também é indispensável para a germinação do grão de pólen e para o crescimento do tubo polínico, o que pode ser devido ao seu papel na síntese da parede celular ou ao funcionamento da plasmalema (MALAVOLTA, 1980). O Ca atua ainda como cofator de enzimas, ativando-as diretamente, ou então, ligando-se à proteína calmodulina; neste último caso, o Ca altera a conformação desta proteína, tornando-a um ativador de enzimas (MENGEL & KIRKBY, 1987).

A deficiência de Ca dificilmente ocorre em solos cultivados, devido ao seu constante fornecimento juntamente com adubos e corretivos. A sua ocorrência está relacionada mais a culturas altamente exigentes, como amendoim, tomateiro, macieira e espécies do gênero *Citrus*.

A falta de Ca afeta particularmente os pontos de crescimento da raiz, onde ocorrem núcleos poliplóides, células binucleadas, núcleos constrictos e divisões amitóticas; desse modo, o desenvolvimento das raízes cessa, havendo posteriormente o seu escurecimento e morte (MALAVOLTA, 1980). GAUCH (1940) cita ainda

que os sintomas de deficiência de Ca se manifestam nas raízes antes mesmo do seu aparecimento na parte aérea, sendo que em algumas plantas, pode haver a formação de novas raízes próximas à base do caule.

Na parte aérea, o primeiro efeito da deficiência de Ca geralmente é a redução no desenvolvimento e a morte do meristema apical e posteriormente, dos meristemas axilares. As folhas mais novas tornam-se deformadas e cloróticas e numa fase mais avançada, ocorre necrose das margens. Os tecidos afetados tornam-se tenros, devido à dissolução das paredes celulares. Substâncias marrons se acumulam nos espaços intracelulares e no tecido vascular, afetando o mecanismo de translocação (BUSSLER, 1963).

Ao contrário do Ca, o íon Mg absorvido pelas raízes é móvel no floema e pode ser translocado das folhas mais velhas para as mais novas ou para os frutos.

Nos tecidos da planta, cerca de 70% do Mg total é difusível e está associado com ânions minerais e orgânicos, tais como malato e citrato, enquanto que a outra fração do Mg está associada com ânions não difusíveis, como o oxalato e pectato (MENGEL & KIRKBY, 1987).

O Mg é um importante constituinte das clorofilas, representando 2,7% do seu peso molecular, o que corresponde a cerca de 10% do teor total de Mg da folha. Este nutriente é também o ativador mais comum das enzimas relacionadas com o

metabolismo energético. A transferência de energia, tendo o Mg como cofator das enzimas fosforilativas, é fundamental nos processos de fotossíntese, respiração, reações de síntese de compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico executado pela planta (MALAVOLTA, 1980).

Em condições de deficiência de Mg, as folhas mais velhas apresentam amarelecimento ou clorose internerval, como consequência de alterações morfológicas da estrutura interna dos cloroplastos. Quando a deficiência é mais severa, aparecem lesões necróticas escuras entre as nervuras, inicialmente nas margens e no ápice da folha, progredindo posteriormente em direção à base e à nervura central. O limbo foliar torna-se rígido e quebradiço e geralmente ocorre senescência precoce. As plantas carentes em Mg normalmente apresentam atraso na fase reprodutiva (CLARK, 1984 e MENGEL & KIRKBY, 1987).

Uma das principais características do K na planta refere-se à elevada permeabilidade das membranas a este nutriente. Isto, aliado ao fato de que cerca de 75% do potássio total se encontra no tecido em forma solúvel, permite que ele seja prontamente redistribuído pelo floema das folhas mais velhas para as mais novas, para as regiões de crescimento e para os frutos em desenvolvimento (MALAVOLTA, 1980 e MENGEL & KIRKBY, 1987).

O K participa direta ou indiretamente de inúmeros processos bioquímicos envolvidos com o metabolismo de carboidratos, como a fotossíntese e a respiração. A sua ação caracteriza-se por ser

ativador de um grande número de enzimas; entretanto, como o K tem baixa afinidade por ligantes orgânicos, são necessárias altas concentrações do mesmo na planta para a ativação máxima das enzimas (EPSTEIN, 1975).

Este nutriente favorece a formação de compostos nitrogenados de alto peso molecular, como as proteínas e a síntese, translocção e armazenamento de açúcares. Também proporciona maior eficiência no uso da água, através do melhor controle na abertura e fechamento de estômatos, e da sua ação como regulador do potencial osmótico das células (MALAVOLTA & CROCOMO, 1982 e YAMADA, 1988).

O potássio promove maior retenção das vagens durante sua formação, redução da deiscência na maturação, melhora da qualidade das sementes, aumento no teor de óleo dos grãos e da resistência da soja ao fungo *Diaporthe phaseolurum sojæ*, que incide no período de formação de vagens e maturação das plantas (RAIJ & MASCARENHAS, 1976).

A deficiência de K não resulta em sintomas visíveis de imediato. Primeiro, há apenas uma redução na taxa de crescimento (fome oculta), sendo que a manifestação dos sintomas na soja pode ocorrer quando o teor foliar apresentar-se inferior a 1,25% (MENGEL & KIRKBY, 1987 e BORKERT et al., 1988).

Plantas deficientes em K apresentam amarelecimento das margens das folhas mais velhas, com posterior progressão em direção à nervura central e às folhas mais novas. Há formação de

lesões necróticas e o limbo fica com aspecto rendilhado, como resultado da perda de parte do tecido morto. Na frutificação, as plantas de soja apresentam um baixo pegamento de vagens no terço superior e pode haver a presença de vagens vazias e retorcidas (frutos partenocárpicos, sem desenvolvimento de sementes). Devido ao não pegamento da primeira florada, há nova floração, com conseqüente aparecimento de haste verde e retenção foliar (WANG & Ma WANG, 1979 e MASCARENHAS et al., 1987 e 1988).

2.3. Absorção iônica pelas raízes

O processo de absorção é controlado pela membrana plasmática, que em função de suas características estruturais, constitui-se em uma barreira efetiva ao livre fluxo de íons nas células (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Assim, o influxo de um determinado cátion é influenciado, principalmente, pela sua disponibilidade no solo, pelas propriedades físico-químicas do cátion e do ânion acompanhante (valência e raio iônico), bem como pela sua concentração em relação aos demais cátions (MARSCHNER, 1985). Além destes, outros fatores afetam a absorção, tais como diferenças na permeabilidade específica da plasmalema a uma espécie iônica em particular, propriedades químicas (CTC) e características morfológicas da raiz (densidade de raízes e pêlos radiculares) (MARSCHNER, 1985 e MENGEL & KIRKBY, 1987); ressalta-se ainda a importância da

capacidade da planta em manter uma atividade microbiológica na rizosfera ou uma relação simbiótica com microrganismos (SIQUEIRA & FRANCO, 1988).

A explicação do mecanismo de absorção tem sido fundamentada na presença na plasmalema, de moléculas orgânicas com peso molecular entre 200 e 2.000, denominadas de carregadores, capazes de formar complexos lipossolúveis com cátions polares (MENGEL & KIRKBY, 1987). Assim, o processo de absorção da membrana envolve a ligação do cátion em um sítio específico no carregador, que sofre uma alteração conformacional; esse complexo cátion-carregador se movimentaria do lado externo para o lado interno da membrana, onde o cátion seria liberado no citoplasma em função da menor afinidade, resultante da alteração na sua estrutura. A ação do carregador consiste, portanto, em intermediar a passagem de um íon hidrofílico através de uma membrana hidrofóbica (LEONARD, 1985).

Desse modo, os efeitos antagônicos observados entre os nutrientes Ca, Mg e K seriam explicados por uma competição pelos sítios de ligação dos carregadores. Neste sentido, FAGERIA (1974) sugere que a inibição competitiva na absorção pelas raízes ocorre em função dos carregadores destes cátions possuírem a mesma afinidade, ou então, uma afinidade muito semelhante.

Contudo, MENGEL & KIRKBY (1987) salientam que isto parece ser improvável, em virtude da existência de diferenças marcantes nas propriedades físico-químicas destes nutrientes. Além disso,

os trabalhos realizados com o intuito de tentar esclarecer a interação catiônica não têm sido concordantes.

A interação entre Ca e K na absorção foi explicada por OVERSTREET et al. (1952) em termos de dois processos simultâneos. O primeiro consiste na ação do Ca no aumento da velocidade de transporte do complexo K-carregador na plasmalema. Seus efeitos seriam mais pronunciados em condições de mesma concentração no meio e resultariam no estímulo da absorção de K pelo Ca. O segundo processo consiste na competição de ambos pelo carregador. Em função de uma maior afinidade do K pelo carregador, o efeito antagônico do Ca sobre o K tornar-se-ia um fator importante quando a concentração de Ca no meio for superior à de K, o que normalmente ocorre em solos bem manejados.

A esse respeito, KAHN & HANSON (1957) também relataram que o Ca pode afetar o processo de absorção do K de duas formas. Por um lado o Ca aumenta a afinidade entre o íon K^+ e o respectivo carregador, mas numa segunda reação, independente da primeira, o Ca tem um efeito de diminuir a velocidade de transporte do complexo K-carregador na plasmalema. Em experimento em solução nutritiva, estes autores concluíram que em raízes de milho há uma tendência em predominar o efeito sinérgico do Ca sobre a absorção de K, enquanto que em raízes de soja, tende a ocorrer a segunda reação.

Mais recentemente, vários trabalhos têm demonstrado que o movimento de íons na plasmalema está sujeito a uma força motriz

de prótons gerada pelo bombeamento de H^+ para fora da célula. O funcionamento da bomba de prótons baseia-se na ativação da enzima ATPase presente na membrana plasmática, por dois íons H^+ do citoplasma. A ATPase ativada induz a hidrólise do ATP e sofre desprotonação no lado externo da membrana. Por esse processo, cria-se um potencial eletroquímico através da membrana, com o lado interno mais negativamente carregado (pH 7,0) do que o lado externo (pH 5,5) (CHEESEMAN & HANSON, 1979; LIN, 1985 e MENGEL & KIRKBY, 1987).

Assim, os cátions são absorvidos através de um processo relativamente não específico, podendo ocorrer uma competição entre eles pelas cargas negativas da plasmalema. Desse modo, a espécie de cátion absorvida mais rapidamente neutralizará os equivalentes aniônicos primeiro, e então, reduzirá a atração eletrostática para as demais espécies catiônicas (MENGEL & KIRKBY, 1987). Estes mesmos autores sugerem que a competição não específica é evidenciada pelas frequentes observações de que a soma total de cátions em tecidos da planta ou na planta como um todo é pouco alterada, apesar de haver variações nos níveis individuais de cátions. Como resultado, o aumento no suprimento de K no solo pode induzir a uma redução nos teores de Ca e Mg na planta, sem que este tenha a capacidade de substituir as funções fisiológicas dos mesmos.

Apesar da hidrólise do ATP estar envolvida no processo de absorção, seja por intermédio de carregadores, seja por potencial

de membrana, não existe ainda concordância entre os autores se o influxo de cátions é direta ou indiretamente dependente do consumo de energia.

Contudo, parece que a energia liberada do ATP é diretamente utilizada na geração do potencial de membrana e na ativação do carregador (MARSCHNER, 1985), restaurando sua afinidade pelo cátion (LEONARD, 1985). O potencial eletroquímico pode ainda direcionar o movimento do carregador, de modo que este pode mediar tanto o influxo como o efluxo de íons (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Por outro lado, sabe-se que a atividade da ATPase é responsável por 20% do consumo total de energia por uma célula (SPANSWICK, 1981), podendo ser estimulada pela presença de K no meio externo (LAUCHLI & PFLUGER, 1979) e em menor intensidade, de Ca e Mg (MATSUMOTO & YAMAYA, 1984 e MENGEL & SCHUBERT, 1985).

Do exposto, pode se verificar que a nutrição e o crescimento das plantas podem não ser determinados pelo aumento dos teores de Ca e Mg no solo, mas principalmente, pelas proporções entre a absorção desses nutrientes e K, como foi observado por MASCARENHAS et al. (1984) na cultura da soja.

Assim, muitos estudos têm sido realizados no intuito de se obter uma faixa de equilíbrio ideal entre esses cátions no solo, para uma maior racionalização da adubação.

2.4. Efeito do equilíbrio entre cálcio, magnésio e potássio

Uma das primeiras tentativas para estabelecer as melhores condições de absorção de cátions pelas plantas foi feita por BEAR & TOTH (1948). Neste trabalho, determinou-se que, numa condição ideal, um solo deveria ter uma saturação de seu complexo de troca com 65% de Ca, 10% de Mg, 5% de K e 20% de H. Desse modo, infere-se que os cátions devem guardar entre si proporções percentuais de 15:1 para (Ca+Mg):K, de 13:1 para Ca:K, de 2:1 para Mg:K e de 6,5:1 para Ca:Mg, a fim de manter o equilíbrio do complexo de troca.

Dados preliminares mostraram que a saturação do complexo de troca em latossolo roxo distrófico poderia ser de 38% de Ca, 18% de Mg, 4% de K, 60% em bases e 40% em acidez potencial (SFREDO et al., 1988).

Diferentes valores ideais da relação Ca:Mg trocáveis foram obtidos por ARAÚJO (1977), em função do tipo de solo e do corretivo utilizado. Quando se aplicou corretivo com relação CaO:MgO de 1:0, as maiores produções de matéria seca de soja, variedade Santa Rosa, foram obtidas com valores de relação Ca:Mg trocáveis em torno de 12 a 26:1 nos três solos estudados. Entretanto, quando o corretivo apresentava relação CaO:MgO 2:1, uma relação Ca:Mg entre 1,15 a 1,5:1 mostrou-se mais adequada.

Em experimento com cana-de-açúcar conduzido em casa de vegetação, SOLERA (1988) obteve produções máximas de matéria seca

total com relações Ca:Mg trocáveis de 4,86:1 e 10,34:1, quando ambos os nutrientes foram fornecidos na forma de carbonato e sulfato, respectivamente. Desse modo, demonstrou-se que a influência do equilíbrio entre Ca e Mg no crescimento da planta também está relacionada com a fonte destes nutrientes utilizada. O autor cita ainda que a redução na produção verificada em relações mais amplas foi ocasionada em função da indução de deficiência de Mg.

Estudando o efeito de quatro relações Ca:Mg no corretivo (100:0, 75:25, 50:50 e 0:100) sobre o crescimento de milho cultivado em dois solos de cerrado, SILVA (1981) obteve maiores produções de matéria seca de raízes e parte aérea com a relação 75:25. Quando se aplicou corretivo com relação 0:100, este autor observou um acentuamento na deficiência de cálcio nas raízes, levando-o a concluir que concentrações mais elevadas de Ca, apesar de causarem desequilíbrios no solo são menos prejudiciais que altas concentrações de Mg.

Em plantas de sorgo sacarino, ROSOLEM et al. (1984) demonstraram não haver resposta em produção de colmos com a aplicação de Mg na presença e ausência de calagem e adubação potássica, quando os teores trocáveis de Mg variaram de 0,15 a 0,52 meq/100 cm³. Entretanto, quando a relação Mg:K no solo foi inferior a 0,6:1 ou a relação Ca:K foi inferior a 7,4:1, houve prejuízo na produtividade, em função das menores absorções de Mg e Ca, respectivamente.

respostas progressivamente menores e, portanto, antieconômicas. Com isso, concluíram que a adubação potássica não deve ser baseada apenas no teor de K trocável, mas sim no poder de suprimento de potássio dos solos, na dose de calcário a ser aplicada e na relação $K:(Ca+Mg)^{1/2}$.

Por outro lado, KEY et al. (1962), em experimento com substrato de areia e resina sintética, concluíram que a relação Ca:Mg tem pequeno efeito sobre o desenvolvimento de milho e soja, contanto que haja quantidade suficiente de ambos os nutrientes e a disponibilidade de Ca seja maior que a de Mg.

Esta evidência foi suportada posteriormente por SILVA (1981) que verificou não haver alteração na produção de matéria seca de duas cultivares de soja (UFV-1 e IAC-2), diante de relações Ca:Mg trocáveis no solo de 2:1 até 87,5:1, apesar dos teores destes na parte aérea acompanharem as relações no solo. Neste trabalho, observou-se também um efeito positivo de níveis do corretivo (0,9, 1,8 e 3,6 meq Ca+Mg/100g), indicando que, em condições de baixa disponibilidade inicial de Ca e Mg, a quantidade de corretivo foi mais importante que a relação em si.

MUCHOVEJ et al. (1986) também não encontraram diferenças na produção de matéria seca de soja, variedade UFV-1, cultivada em solo com relação Ca:Mg variando de 0,26:1 a 24,0:1. Com isso, concluíram que, em condições onde o teor de Ca no solo não é um fator limitante, a quantidade de Mg originalmente existente no solo é mais importante do que a própria relação Ca:Mg.

Em experimento com dois tipos de solos, dois sistemas de cultivo de capim colônia (isolado e consorciado com soja perene) e três cortes, BULL (1986) verificou aumentos na produção de matéria seca da forrageira proporcionais aos aumentos da relações K:(Ca+Mg) testadas (1:65, 1:50, 1:35, 1:20, 1:12,5 e 1:7,5). Sugeriu-se ainda que, para o cultivo isolado de soja perene, a relação apropriada esteja em torno de 1:25 a 1:20.

MASCARENHAS et al. (1988) ressaltam que o uso contínuo de adubos formulados com baixo teor de potássio, correção da acidez do solo através da calagem e perda de K por lixiviação, especialmente em solos arenosos, podem resultar num desequilíbrio nutricional. Segundo estes autores, a associação destes fatores contribuiu para o surgimento ou agravamento de sintomas de deficiência de K em lavouras de soja de algumas regiões produtoras em São Paulo, mesmo quando a análise de solo indicava teores de Ca, Mg e K acima do nível crítico. Sugerem ainda que, independente do solo e da cultivar, o melhor desenvolvimento da soja ocorre quando a relação (Ca+Mg):K no solo está entre os valores de 22:1 e 31:1.

Utilizando resultados de 74 experimentos envolvendo adubação potássica, CASTRO & MENEGHELLI (1989) encontraram um índice de 0,2 para a relação $K:(Ca+Mg)^{1/2}$ como sendo o limite superior a partir do qual nenhuma resposta ao K pode ser esperada. Verificaram também que o índice 0,13 para esta relação, marca o limite a partir do qual as adubações potássicas vão apresentando

Assim, observa-se que os resultados obtidos nos trabalhos que estudaram as relações entre Ca, Mg e K ainda são divergentes, necessitando portanto de maiores informações a fim de se obter conclusões definitivas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (EMBRAPA-CNPSO), Londrina, PR.

3.1. Caracterização física e química do solo utilizado

No presente estudo, utilizou-se um latossolo vermelho escuro, distrófico, textura argila arenosa, sob vegetação de campo nativo, da região de Ponta Grossa, PR.

A amostra de terra foi coletada da camada superficial (0-20 cm), tomando-se o cuidado de remover a vegetação. Após secagem ao ar, o material de solo foi peneirado em malha de 5 mm, quando tomaram-se sub-amostras para análises física e químicas.

Na caracterização física do solo, foi feita apenas a análise granulométrica, conforme DAY (1965). As determinações químicas foram efetuadas conforme VETTORI (1969) com modificações da EMBRAPA (1979) para pH em CaCl_2 0,01M; acidez SMP; Ca, Mg e Al

(extraídos pelo KCl 1N); P e K (extraídos pelo HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) e carbono orgânico por oxidação com dicromato de potássio. Os resultados são mostrados no Quadro 1.

3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, distribuído em esquema fatorial 6 x 3 + 1, com 4 repetições, sendo 6 relações equivalente de Ca:Mg no corretivo aplicado (1:2, 1:1, 5:1, 10:1, 20:1 e 40:1), 3 doses de K (100, 150 e 200 ppm) e uma testemunha com o solo natural, perfazendo um total de 76 vasos.

As relações equivalente de Ca:Mg no corretivo foram obtidas utilizando-se diferentes proporções de CaCO₃ e MgCO₃ p.a. As quantidades de Ca e Mg aplicadas ao solo nas diferentes relações Ca:Mg são apresentadas no Quadro 2.

A dose de corretivo aplicada foi calculada através do método da saturação em bases, visando elevá-la a 70%, conforme PALHANO et al. (1984), considerando-se um PRNT de 100% para o material corretivo. Como fonte de K, utilizou-se o KH₂PO₄ p.a.

QUADRO 1. Caracterização física e química do solo utilizado no experimento.

----- ¹	
Análise física	
Areia (%)	47,44
Limo (%)	6,97
Argila (%)	45,59
Classificação textural	argila arenosa
Análise química ²	
pH CaCl ₂ 0,01M	3,70
P (ppm)	0,30
K (meq/100 cm ³)	0,13
Ca (meq/100 cm ³)	0,36
Mg (meq/100 cm ³)	0,32
Al (meq/100 cm ³)	1,60
H + Al (meq/100 cm ³)	12,03
S (meq/100 cm ³)	0,81
t (meq/100 cm ³)	2,41
T (meq/100 cm ³)	12,84
m (%)	66,52
V (%)	6,31
Carbono (%)	2,85

1. Análise realizada pelo método da pipeta no laboratório de Física de Solo da EMBRAPA-CNPSO, Londrina, PR.
2. Análises realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo, Nutrição de Plantas e Microbiologia da EMBRAPA-CNPSO, Londrina, PR.

QUADRO 2 - Quantidades de cálcio e magnésio aplicadas ao solo em diferentes relações Ca:Mg utilizadas no corretivo.

Relação Ca:Mg corretivo	Ca - meq/100 cm ³ -	Mg - meq/100 cm ³ -	CaCO ₃ - g/vaso -	MgCO ₃ - g/vaso -
1:2	2,726	5,452	3,274	5,517
1:1	4,089	4,089	4,911	4,138
5:1	6,815	1,363	8,185	1,379
10:1	7,435	0,743	8,929	0,752
20:1	7,789	0,389	9,355	0,394
40:1	7,979	0,199	5,583	0,202

3.3. Instalação e condução do experimento

Foi feita a incorporação do material corretivo referente aos tratamentos, individualmente ao solo de cada vaso (2,4 kg), procedendo-se uma incubação por 50 dias com umidade inicial de 80% da capacidade de campo. Durante o período de incubação, procedeu-se amostragens periódicas de 3 repetições por tratamento (relação Ca:Mg) para determinação de pH em CaCl₂ 0,01M e Al trocável.

Após a incubação, padronizou-se o peso seco de solo em cada vaso em 2,1 kg. Em seguida, foram aplicados os tratamentos referentes às doses de K (KH₂PO₄), bem como a adubação básica de 300 ppm de P (KH₂PO₄ e H₃PO₄). Estas fontes foram aplicadas individualmente ao solo dos vasos na forma de solução, fazendo-se

em seqüência uma cuidadosa homogeneização.

Após o acondicionamento do solo aos vasos, procedeu-se o plantio de 10 sementes de soja, cultivar Bragg, previamente inoculadas com rizóbio específico. Aos sete dias após o plantio, efetuou-se o desbaste, deixando-se 4 plantas por vaso.

A umidade do solo foi mantida aproximadamente a 60% da capacidade de campo, aferida através de pesagens dos vasos, completando-se o peso com água desmineralizada.

As plantas foram colhidas aos 85 dias, no estágio de desenvolvimento R₅, correspondente ao pleno florescimento (HANWAY & THOMPSON, 1971).

Na colheita, separou-se as plantas em folhas e caules; após a secagem do solo, retirou-se também o sistema radicular, que foi cuidadosamente lavado em água corrente e posteriormente, em água desmineralizada.

O material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 70° C até peso constante. A seguir, os tecidos secos foram pesados e moídos separadamente em moinho tipo Willye provido de peneira de aço inoxidável com 20 malhas por polegada (0,42 mm).

Antes de se proceder a aplicação dos fertilizantes e após a colheita das raízes, foram coletadas amostras de terra de cada vaso para posteriores análises químicas, conforme descrito no item 3.1. Após a aplicação dos fertilizantes, coletou-se amostra de terra de apenas alguns vasos por tratamento (dose de K) onde

procedeu-se somente a determinação do teor de K trocável. Desse modo, as considerações acerca do teor de K no solo antes do cultivo são baseadas em médias de 5 repetições por nível de K aplicado.

3.4. Análise química do tecido vegetal

Os teores de nutrientes na matéria seca das folhas, caule e raízes foram determinados como a seguir: N pelo método Kjeldhal; P, K, Ca e Mg, através de digestão nitroperclórica, conforme SARRUGE & HAAG (1974). A análise do extrato foi feita por colorimetria (P); fotometria de chama (K) e espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg).

3.5. Características avaliadas

As características avaliadas ao final do experimento foram:

- a) Produção de matéria seca das folhas, do caule, da parte aérea (folhas + caule) e das raízes;
- b) Teor de nutrientes na matéria seca das folhas, do caule, da parte aérea e das raízes. Na parte aérea, os teores foram calculados através de média ponderada entre os teores na folha e no caule;
- c) Soma de cátions nas folhas, no caule e na parte aérea,

em equivalente miligrama/100g de matéria seca.

d) Quantidade de Ca, Mg e K acumulada nas folhas, no caule e na parte aérea, calculado com base no teor destes nos tecidos e a na produção de matéria seca;

e) Eficiência de utilização (EU) de Ca, Mg e K, considerando-se a relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a quantidade do nutriente acumulada, segundo

SIDDIQI & GLASS² (1981):

$$EU = \frac{MS}{C} \text{ ou } \frac{(MS)^2}{q}$$

onde:

MS = matéria seca da parte aérea (g/vaso).

C = concentração ou teor do nutriente (%).

q = quantidade do nutriente acumulada (mg/vaso).

3.6. Análise estatística

Os parâmetros estudados foram submetidos à análise de variância com significância pelo teste F aos níveis de 1 e 5% de probabilidade.

Nos casos em que a fonte de variação revelou-se significativa, efetuou-se o seu desdobramento para as regressões linear e quadrática, utilizando-se o teste F e o coeficiente de determinação para escolher a regressão que melhor se ajustasse aos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito dos tratamentos no solo

Os valores médios obtidos nas determinações do pH do solo durante o período de incubação são apresentados no Quadro 3. Verifica-se que o corretivo aplicado teve um rápido efeito na redução da acidez do solo, determinando logo na primeira amostragem (9 dias de incubação) uma expressiva elevação do pH, com tendência de estabilização destes valores nas amostragens subsequentes. Este efeito também foi acompanhado da redução dos teores de alumínio trocável a níveis não detectáveis na análise de solo. Estes dados sugerem que ao se utilizar fontes p.a. de CaCO_3 e MgCO_3 na correção da acidez de solos, não há necessidade de períodos de incubação superiores a 10 dias.

No Quadro 3, observa-se ainda uma certa tendência de aumento do pH com incrementos na relação Ca:Mg no corretivo, em todas as épocas de amostragem. Este resultado discorda de SFREDO (1976) e

QUADRO 3. Valores de pH (CaCl_2 0,01M) do solo em função das relações Ca:Mg no corretivo e período de incubação (média de 3 repetições).

Ca:Mg	Dias de incubação			
	9	21	37	50
corretivo.				
1:2	5,60	5,50	5,40	5,36
1:1	5,63	5,50	5,58	5,42
5:1	5,71	5,80	5,34	5,52
10:1	5,95	5,74	5,62	5,61
20:1	5,98	5,79	5,79	5,67
40:1	5,84	5,80	5,53	5,55
Testemunha	3,78	3,76	3,60	3,71

SILVA (1980) que observaram ligeiro aumento de pH com o aumento na proporção de MgCO_3 na mistura do corretivo, apesar das diferenças não serem significativas. Contudo, ALCARDE (s.d.), citando diversos autores, ressalta que apesar de se verificar maior solubilidade do calcário calcítico em extratores químicos, no solo parece não haver diferenças com o calcário dolomítico na elevação do pH.

Os resultados das análises para os teores de Ca, Mg e K trocáveis no solo antes do cultivo, promovidos pela aplicação de corretivo com variadas relações Ca:Mg e pelas doses de K, são apresentados no Quadro 4. Observa-se que os teores trocáveis

QUADRO 4. Teores trocáveis de Ca, Mg e K no solo antes do cultivo, em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas (médias de 12 repetições para relações Ca:Mg no corretivo e de 5 repetições para doses de K).

Tratamentos	Ca	Mg	K	Ca:Mg solo
Ca:Mg corretivo	meq/100 cm ³			
1:2	2,64	4,07	-	0,65:1
1:1	3,87	3,22	-	1,20:1
5:1	6,30	1,24	-	5,10:1
10:1	7,16	0,78	-	9,19:1
20:1	7,29	0,52	-	14,23:1
40:1	7,26	0,38	-	19,40:1
Doses K (ppm)				
100	-	-	0,28	-
150	-	-	0,44	-
200	-	-	0,59	-
Testemunha	0,36	0,32	0,13	1,13:1

foram bastante aumentados pelas aplicações de suas fontes e todos os tratamentos apresentaram teores acima dos valores críticos sugeridos pela EMBRAPA (1990) à excessão do Mg no tratamento Ca:Mg 40:1, que apresentou-se no nível baixo. Verifica-se ainda que as relações Ca:Mg no corretivo aplicado promoveram uma ampla variação nas suas relações trocáveis no solo, obtendo-se uma amplitude de 0,65:1 até 19,40:1.

Os teores de Ca, Mg e K no solo diminuíram expressivamente com o cultivo da soja, como pode ser observado no Quadro 5. Dos três cátions, o K foi aquele que relativamente sofreu maior redução nos seus teores trocáveis, sendo que na dose de 100 ppm, os teores trocáveis após o cultivo retornaram a valores próximos aos originais (Quadro 4). É sabido que dentre os três cátions considerados, o K é aquele mais rapidamente absorvido e também o mais exigido pelas plantas (MALAVOLTA, 1980). Nas doses de 150 e 200 ppm de K aplicadas, a extração de K pelas plantas foi inferior à quantidade fornecida pelo fertilizante e os teores deste nutriente no solo apresentaram uma leve tendência de aumentar com a elevação da relação Ca:Mg no corretivo. Por outro lado, observa-se também uma tendência de aumento nos teores de Ca e Mg com acréscimos na dose de K, indicando que houve uma certa influência recíproca entre a disponibilidade no solo e a absorção destes nutrientes pelas raízes. As relações Ca:Mg trocáveis no solo após o cultivo (Quadro 5) apresentaram uma tendência de se elevar com o aumento de suas relações no corretivo aplicado,

QUADRO 5. Teores trocáveis de Ca, Mg e K no solo após o cultivo, em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas (médias de 4 repetições).

Ca:Mg corretivo	Dose de K (ppm)	Ca	Mg	K	Ca:Mg
		----- meq/100 cm ³ -----			solo
1:2	100	1,74	2,98	0,13	0,59:1
1:1	100	2,57	2,14	0,11	1,21:1
5:1	100	4,20	0,66	0,13	6,33:1
10:1	100	4,41	0,33	0,12	13,92:1
20:1	100	4,62	0,26	0,14	17,93:1
40:1	100	5,12	0,22	0,13	23,35:1
1:2	150	1,76	3,04	0,15	0,58:1
1:1	150	2,55	2,16	0,16	1,18:1
5:1	150	4,18	0,67	0,18	6,27:1
10:1	150	4,64	0,38	0,14	12,12:1
20:1	150	4,88	0,22	0,17	22,48:1
40:1	150	4,92	0,18	0,18	28,10:1
1:2	200	1,80	3,42	0,20	0,53:1
1:1	200	2,70	2,58	0,17	1,05:1
5:1	200	4,56	0,80	0,19	5,69:1
10:1	200	5,11	0,44	0,19	11,48:1
20:1	200	5,34	0,28	0,23	18,97:1
40:1	200	5,28	0,19	0,22	27,79:1
Testemunha		0,28	0,18	0,12	1,56:1

devido, principalmente, a um abaixamento proporcionalmente maior dos teores de Mg no solo, em comparação com o Ca.

4.2. Crescimento e nutrição mineral da soja

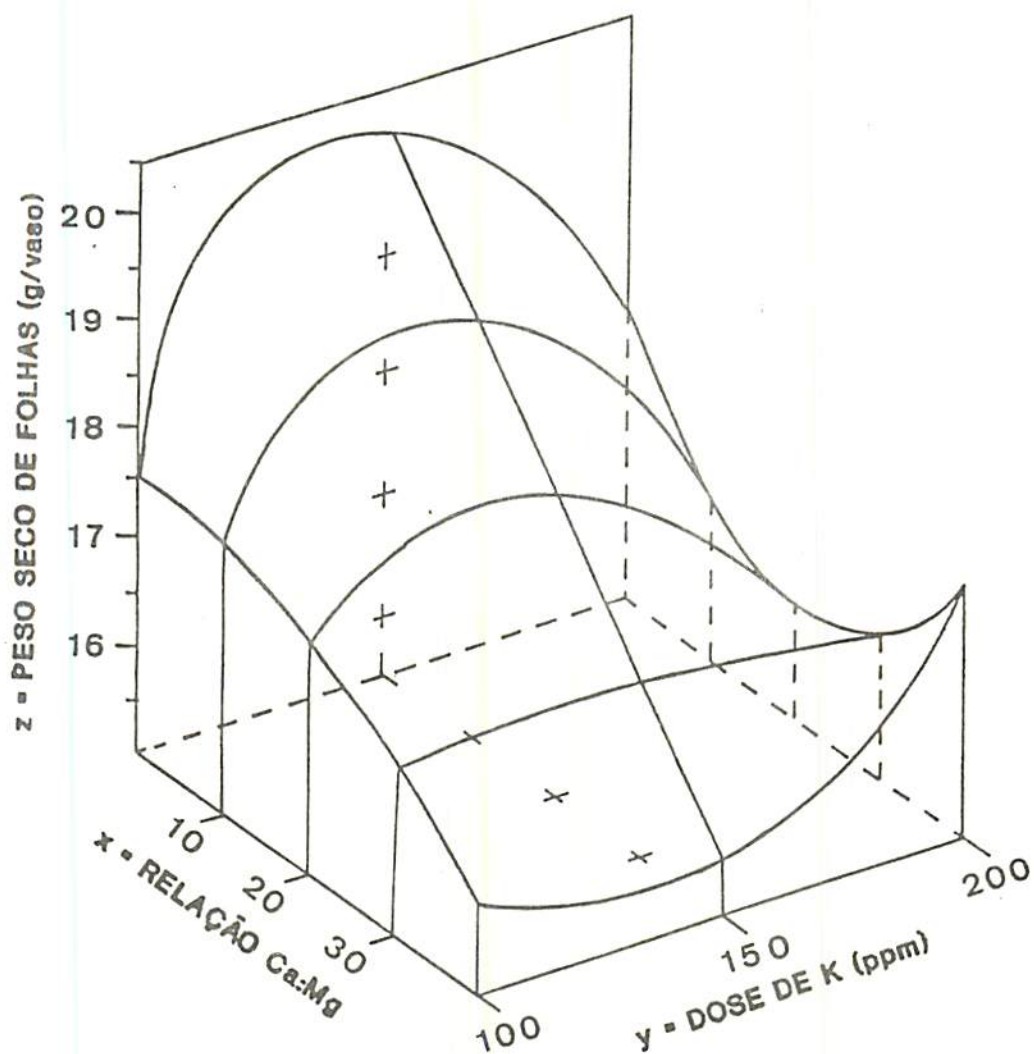
As análises de variância dos dados mostraram que as doses de K influenciaram significativamente sobre a produção de matéria seca de folhas, caule, parte aérea e raízes (Apêndice 1). Já as relações Ca:Mg no corretivo influenciaram significativamente somente para caule e parte aérea.

O desdobramento das interações mostrou que as relações Ca:Mg afetaram significativamente a matéria seca de folhas, caule e parte aérea nas doses 2 (150 ppm) e 3 (200 ppm) de K. No nível intermediário de K (150 ppm), a relação Ca:Mg afetou estes parâmetros de forma linear. Contudo, para a dose de 200 ppm de K, as regressões lineares e quadráticas não se ajustaram às variações ocorridas na produção de matéria seca. Desse modo, optou-se por realizar análises de regressão linear múltipla com os dados destes parâmetros, obtendo-se polinômios de segundo grau cuja variável dependente (z = peso seco) é relacionada a duas variáveis independentes (x = relação Ca:Mg e y = dose de K). E através destas equações polinomiais, foram construídas as superfícies de resposta das Figuras 1, 2 e 3, onde são mostrados os efeitos das relações Ca:Mg no corretivo e dos níveis de K na produção de matéria seca de folhas, caule e parte aérea,

respectivamente. Verifica-se que apenas na dose de 150 ppm de K, as relações Ca:Mg apresentaram um efeito definido na produção de matéria seca, causando decréscimos lineares na produção à medida em que se aumenta a proporção de Ca no corretivo. Nas doses de 100 e 200 ppm de K, o comportamento foi quadrático, embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas. Ressalta-se ainda que, em condições de reduzida proporção de Mg no corretivo (alta relação Ca:Mg), obtiveram-se as menores produções de matéria seca, independente dos níveis de K. Isto ocorreu possivelmente devido a uma deficiência de Mg induzida, visto o mesmo apresentar-se em teores baixos no solo (Quadro 4), embora sintomas visuais de deficiência nas plantas não tenham sido observadas.

Por outro lado, nas relações Ca:Mg inferiores a 30:1, observa-se maior crescimento da soja na dose de 150 ppm de K. A dose de 200 ppm de K foi aquela que proporcionou o menor crescimento da planta em praticamente todas as relações Ca:Mg estudadas, provavelmente devido a um desbalanço com os outros cátions.

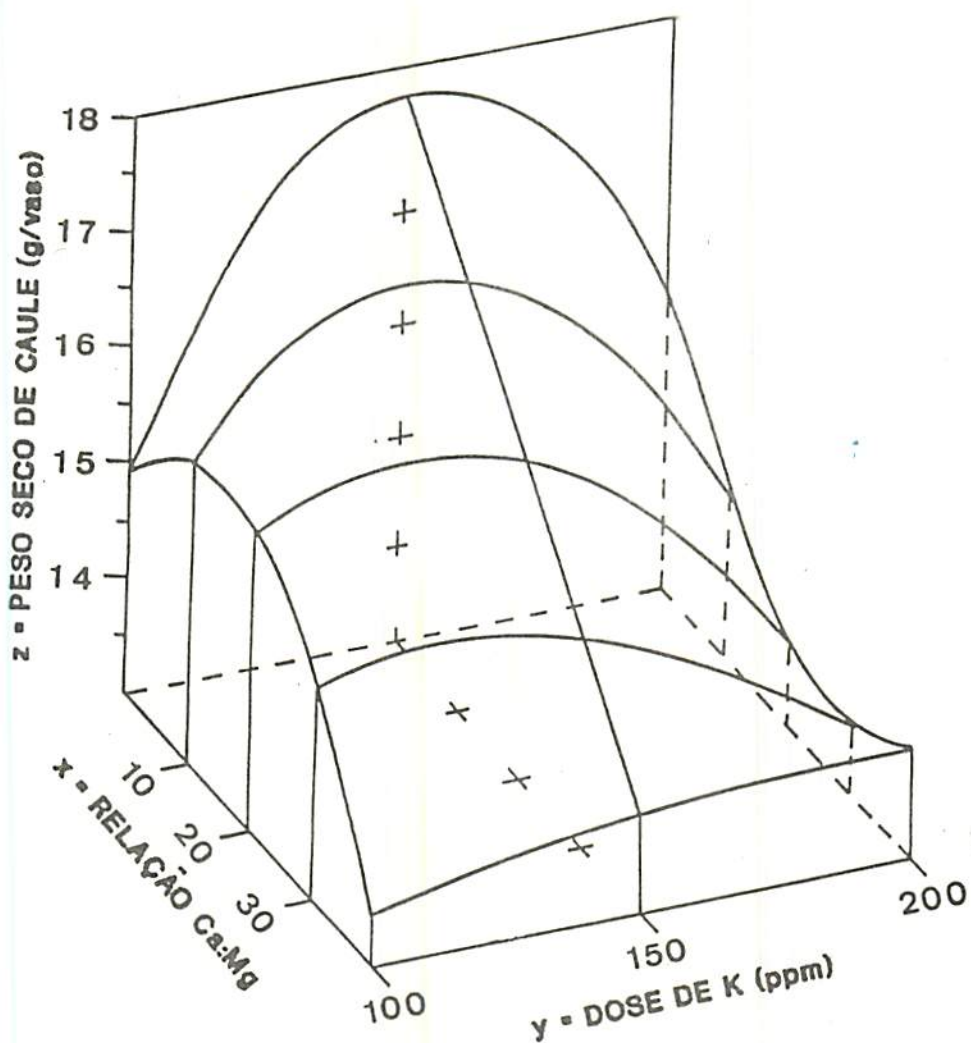
Decréscimos na produção de matéria seca de plantas com aumentos na relação Ca:Mg do corretivo também foram registrados por SOARES et al. (1983) e CARMELO (1989). Contudo, as respostas ao equilíbrio entre Ca e Mg no corretivo e no solo podem ainda ser influenciadas por outras variáveis, tais como o tipo de solo (SFREDO, 1976 e ARAÚJO, 1977), a fonte de nutrientes utilizada (SOLERA, 1988), o nível de corretivo aplicado (SFREDO, 1976), a



$$\hat{z} = -3,53 + 5,60 \cdot 10^{-1}x + 3,15 \cdot 10^{-1}y + 2,74 \cdot 10^{-3}x^2 - 1,05 \cdot 10^{-3}y^2 - 7,48 \cdot 10^{-3}xy + 1,96 \cdot 10^{-5}xy^2 - 8,40 \cdot 10^{-5}x^2y + 4,43 \cdot 10^{-7}x^2y^2$$

$$R^2 = 0,59^*$$

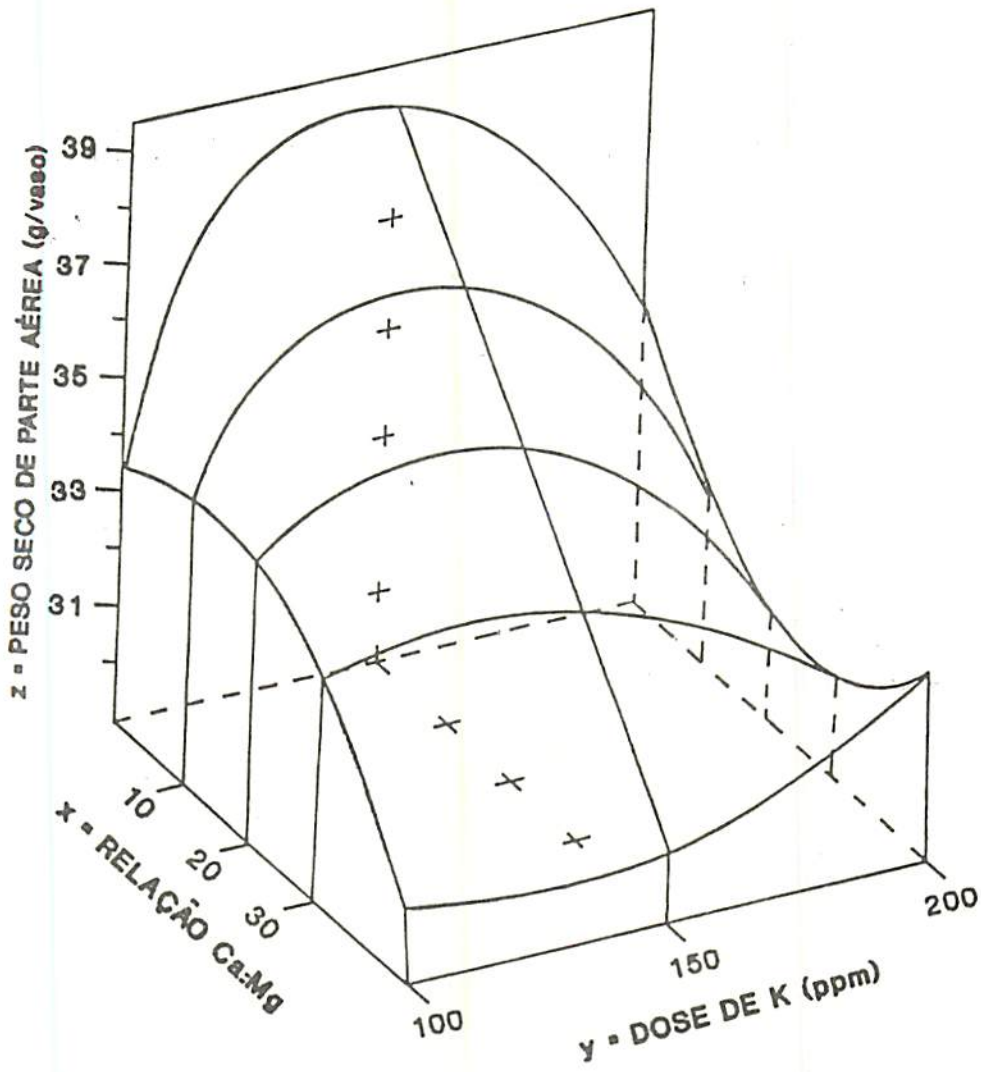
FIGURA 1. Peso seco de folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.



$$\hat{z} = -6,65 + 7,17 \cdot 10^{-1}x + 3,18 \cdot 10^{-1}y - 6,36 \cdot 10^{-3}x^2 - 1,03 \cdot 10^{-3}y^2 - 7,78 \cdot 10^{-3}xy + 1,73 \cdot 10^{-5}xy^2 + 8,81 \cdot 10^{-6}x^2y + 1,80 \cdot 10^{-7}x^2y^2$$

$$R^2 = 0,68*$$

FIGURA 2. Peso seco de caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.



$$\hat{z} = -9,92 + 1,20x + 6,29 \cdot 10^{-1}y - 1,81 \cdot 10^{-3}x^2 - 2,07 \cdot 10^{-3}y^2 - 1,42 \cdot 10^{-2}xy + 3,35 \cdot 10^{-5}xy^2 - 1,01 \cdot 10^{-4}x^2y + 7,09 \cdot 10^{-7}x^2y^2$$

$$R^2 = 0,64^*$$

FIGURA 3. Peso seco de parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

espécie vegetal (BULL, 1986) ou mesmo a variedade utilizada no experimento.

Nas raízes, a produção de matéria seca foi influenciada somente pelos níveis de K (Apêndice 1), decrescendo linearmente com o seu aumento (Figura 4).

Através da análise de variância dos dados de teor de N na planta, observa-se que as relações Ca:Mg e as doses de K afetaram significativamente o teor de N apenas no caule (Apêndice 2). Na Figura 5 é apresentado o teor de N no caule sob influência dos níveis de K. Da equação de regressão, obtém-se um valor mínimo a 141,3 ppm de K aplicado, próximo à dose onde se obteve a maior produção de matéria seca de caule (150 ppm). E através da análise de correlação, verificou-se ainda uma associação negativa entre o teor de N e o peso seco de caule ($r = -0,96$) levando-se a concluir que a variação encontrada para este parâmetro esteja relacionada ao efeito de diluição. Cabe ressaltar também que a amplitude desta variação (1,31 a 1,53% de N), apesar de permitir diferenças significativas ao nível de 5% (Apêndice 2), em termos práticos pouco representa para a nutrição da planta.

DUKE & COLLINS (1985), citando vários outros autores, salientam que diversos trabalhos têm demonstrado uma certa constância ou tendência de redução na concentração de N em tecidos de leguminosas, com aumentos nas doses de K. Isto ocorre porque, nestas plantas, um aumento na produção de matéria seca estimulado pelo K, é acompanhado por uma maior fixação de N_2 ,

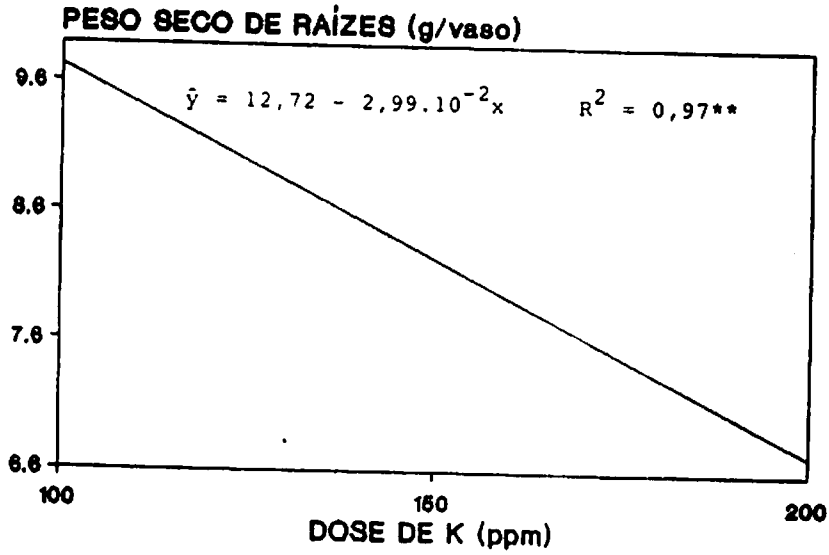


FIGURA 4. Peso seco de raízes em função das doses de K aplicadas.

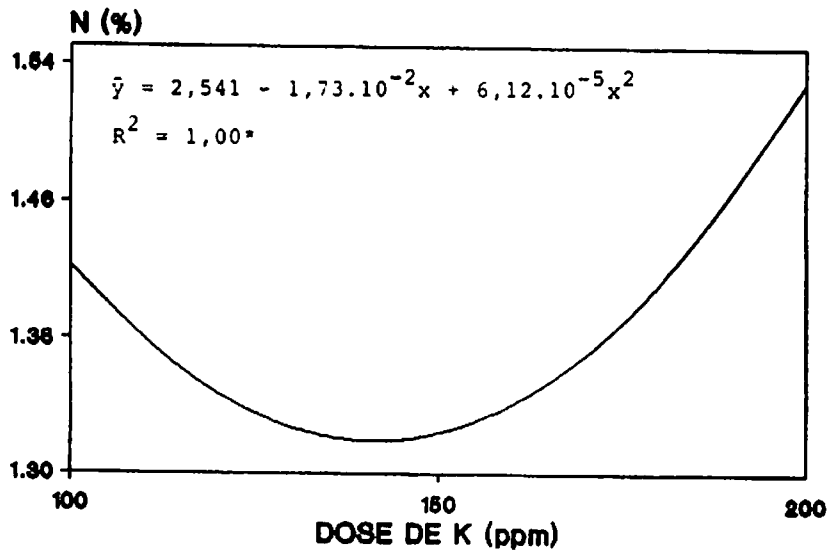


FIGURA 5. Teor de N no caule em função das doses de K aplicadas.

porém muitas vezes em intensidade insuficiente para suprir a maior demanda em N.

O efeito da relação Ca:Mg no corretivo sobre o teor de N no caule é apresentado no Quadro 6, uma vez que não se obteve bom ajuste entre as variáveis ($R^2 = 0,47$ para os efeitos linear e quadrático). Observa-se uma tendência de aumento no teor de N com acréscimos na proporção de Ca no corretivo, o que pode ser explicado por um efeito de concentração, devido à diminuição na produção de matéria seca no mesmo sentido.

QUADRO 6. Teor de N no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo.

Ca:Mg corretivo	N (%)
1:2	1,22 b ¹
1:1	1,52 ab
5:1	1,36 ab
10:1	1,37 ab
20:1	1,48 ab
40:1	1,59 a

¹Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Tukey 5%).

As análises de variância para teor de P mostraram efeito significativo das doses de K no caule e nas raízes, ao nível de 5% e 1%, respectivamente (Apêndice 3).

A variação nos teores de P no caule e nas raízes com os níveis de K aplicados é apresentada nas Figuras 6 e 7, respectivamente. Observa-se que os níveis de K afetaram a concentração de P de forma quadrática, sendo que no caule, obteve-se um teor mínimo em 150,6 ppm de K aplicado, coincidindo com a dose onde se obteve o maior peso seco (150 ppm). Nas raízes, verifica-se elevação no teor de P com acréscimo de K acima da dose de 133,3 ppm, resultante da redução na produção de matéria seca com o aumento nos níveis de K. Assim, pode-se atribuir a este comportamento um efeito de diluição do P no caule e de concentração de P nas raízes.

A interação entre o P e o K tem sido pouco reportada na literatura e os resultados ainda não são concordantes. DUKE & COLLINS (1985), citando vários autores, mencionaram que alguns trabalhos têm demonstrado inexistência de interação, ou então, uma interação baseada apenas no balanço de absorção entre cátions e ânions. Por outro lado, têm-se evidenciado também uma interação baseada na ativação pelo K de um sítio de absorção específico para o P na plasmalema, de modo que a deficiência de K induz a um decréscimo na absorção de P, mesmo quando a sua disponibilidade no solo é adequada. Segundo LOUÉ (1979), a interação entre P e K é mais marcante em solos com baixo suprimento nestes nutrientes.

Através da análise de variância dos dados de teor e acúmulo de Ca, Mg e K na planta (Apêndices 4, 5, 6, 7, 8 e 9), verifica-se que estes parâmetros foram significativamente afetados pelos

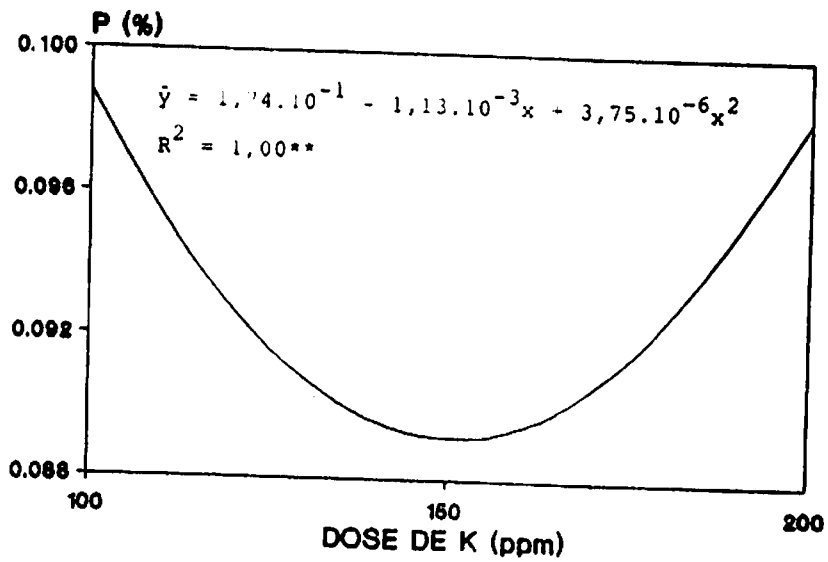


FIGURA 6. Teor de P no caule em função das doses de K aplicadas.

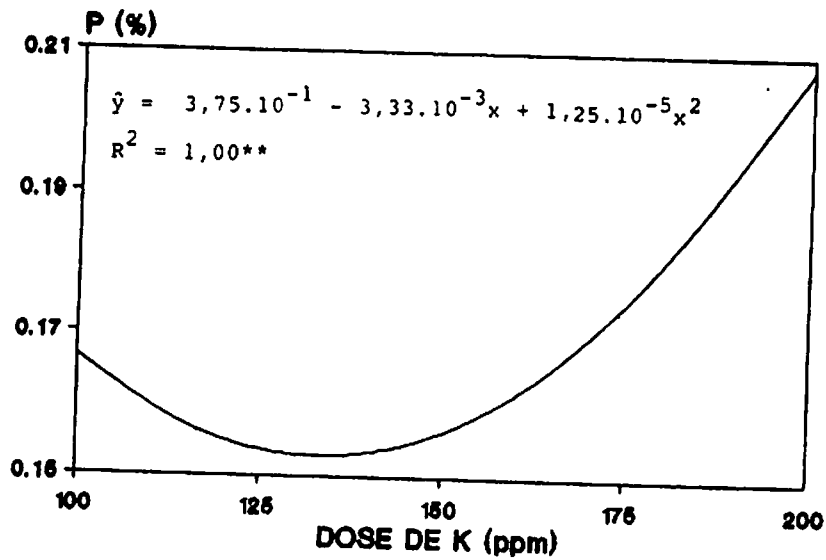


FIGURA 7. Teor de P nas raízes em função das doses de K aplicadas.

tratamentos, à excessão do efeito da relação Ca:Mg no teor de K nas folhas e raízes, bem como do efeito das doses de K nos teores de Mg e K nas raízes.

O desdobramento das interações mostrou que as relações Ca:Mg no corretivo afetaram significativamente o teor e o acúmulo de Ca e Mg nas folhas, caule e parte aérea, bem como o teor de Ca nas raízes, o teor de K no caule e o acúmulo de K no caule e na parte aérea, nas 3 doses de K. Observa-se ainda efeito significativo das relações Ca:Mg no corretivo sobre o teor de K na parte aérea e o acúmulo de K nas folhas, apenas na dose de 200 ppm de K.

O teor e o acúmulo de Ca nas folhas, caule e parte aérea e o teor de Ca nas raízes, sob influência das relações Ca:Mg e das doses de K, são apresentados nas Figuras 8, 9, 10 e 11, respectivamente. Observa-se que tanto o teor quanto o acúmulo de Ca relacionaram-se de forma quadrática com a relação Ca:Mg, à excessão da raiz, onde o teor de Ca aumentou linearmente com a proporção de Ca no corretivo quando se aplicou 150 ppm de K. Constata-se ainda que estes parâmetros apresentaram uma estreita correlação com os teores de Ca no solo antes e após o cultivo (Quadro 7) e que as concentrações máximas de Ca nos tecidos ocorreram em uma faixa de 24:1 e 31:1 de Ca:Mg no corretivo, valores estes calculados pelas equações de regressão.

O aumento das doses de K aplicadas tendeu a promover uma redução no teor de Ca nos tecidos das plantas (Figuras 8, 9 e 10). Com relação ao seu acúmulo, constata-se uma tendência de

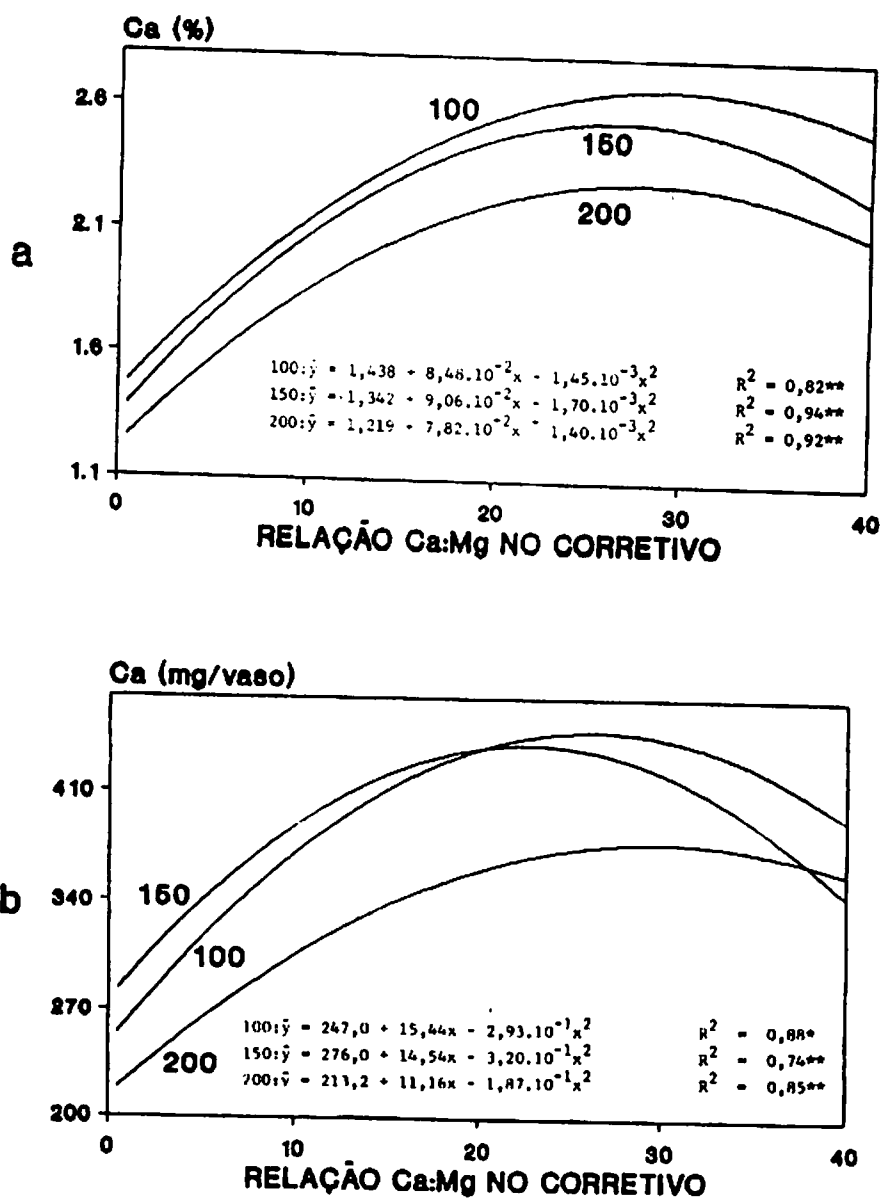


FIGURA 8. Teor (a) e acúmulo (b) de Ca nas folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

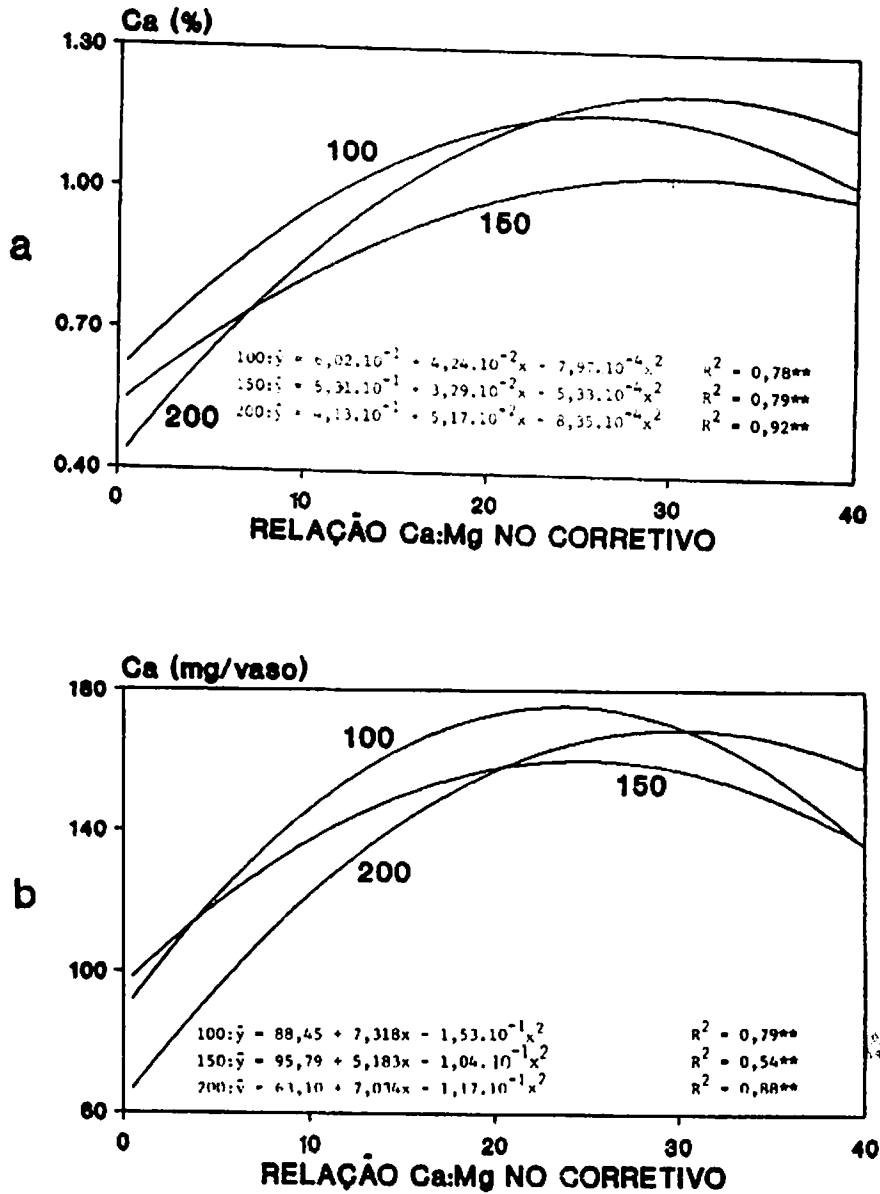


FIGURA 9. Teor (a) e acúmulo (b) de Ca no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

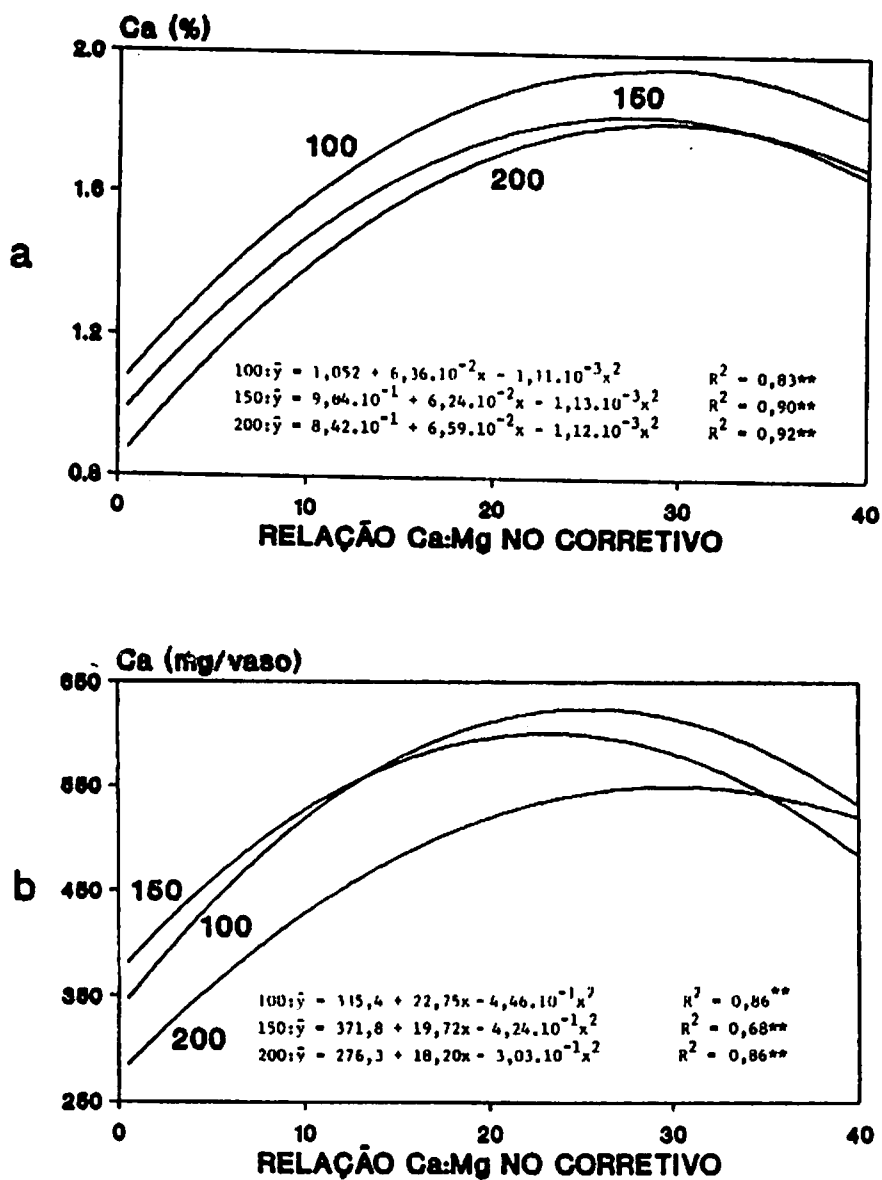


FIGURA 10. Teor (a) e acúmulo (b) de Ca na parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

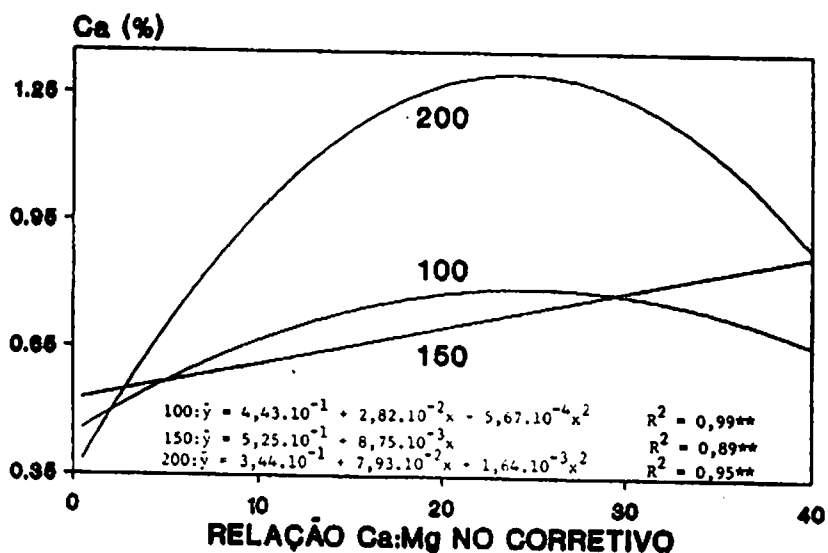


FIGURA 11. Teor de Ca nas raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

diminuição na dose máxima de K (200 ppm), tanto nas folhas quanto na parte aérea, em relações Ca:Mg no corretivo inferiores a 30:1. O menor acúmulo de Ca nos tecidos observado na dose de 200 ppm de K, pode ser explicado pelo seu menor teor e menor produção de matéria seca (Figuras 1, 2 e 3). Os efeitos interiônicos entre o K e o Ca já são bastante conhecidos (MARSCHNER, 1985) e os resultados observados corroboram com SOARES (1975), ROSOLEM et al. (1984) e MORTVEDT & KHASAWNEH (1986).

QUADRO 7. Coeficientes de correlação e níveis de significância para teor (%) e acúmulo (mg/vaso) de Ca, Mg e K nas folhas, caule, parte aérea e raízes, em função dos seus teores trocáveis no solo obtidos antes e após o cultivo.

	Antes do cultivo		Após o cultivo		
	Ca	Mg	Ca	Mg	K
Folhas					
Ca (%)	0,967**	-0,622**	0,933**	-0,643**	0,163
Mg (%)	-0,764**	0,938**	-0,785**	0,912**	-0,369
K (%)	-0,515*	-0,114	-0,435	-0,060	0,175
Ca (mg/vaso)	0,926**	-0,448	0,872**	-0,479*	0,189
Mg (mg/vaso)	-0,549*	0,945**	-0,578*	0,912**	-0,241
K (mg/vaso)	0,179	0,333	0,238	0,354	0,719**
Caule					
Ca (%)	0,928**	-0,754**	0,938**	-0,774**	0,286
Mg (%)	-0,577**	0,936**	-0,600**	0,898**	-0,316
K (%)	-0,303	0,341	-0,186	0,368	0,522*
Ca (mg/vaso)	0,944**	-0,585*	0,921	-0,617**	0,264
Mg (mg/vaso)	-0,513*	0,941**	-0,545*	0,905**	-0,258
K (mg/vaso)	0,032	0,516*	0,080	0,516*	0,527*
Parte aérea					
Ca (%)	0,527*	-0,281	0,384	-0,298	-0,402
Mg (%)	-0,679**	0,953**	-0,701**	0,921**	-0,341
K (%)	-0,452	0,046	-0,341	0,099	0,403
Ca (mg/vaso)	0,940**	-0,493*	0,895**	-0,525*	0,213
Mg (mg/vaso)	-0,540*	0,950**	-0,572*	0,916**	-0,251
K (mg/vaso)	0,127	0,409	0,184	0,423	0,661**
Raízes					
Ca (%)	0,768**	0,478*	0,852**	-0,490*	0,608**
Mg (%)	-0,168	0,685**	-0,119	-0,686**	0,234
K (%)	0,121	-0,117	0,279	-0,096	0,641**

Obs: ** e * = significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Nas raízes, por outro lado, verificou-se um acréscimo na concentração de Ca com o aumento dos níveis de K de 100 para 200 ppm (Figura 11), resultante da redução no crescimento (efeito de concentração).

A concentração e acúmulo de Mg pela planta foram influenciados de forma quadrática pela relação Ca:Mg no corretivo (Figuras 12, 13 e 14), havendo elevados coeficientes de correlação entre estes parâmetros e o teor trocável de Mg antes e após o cultivo (Quadro 7). Assim, observa-se pelas Figuras uma redução no teor e no acúmulo de Mg nas partes da planta com a diminuição na proporção de Mg no corretivo, atingindo-se os valores mínimos com relações Ca:Mg entre 27:1 e 30:1, portanto, dentro da faixa de máxima absorção e acúmulo de Ca.

Em condições de maior disponibilidade de Mg no solo (menor relação Ca:Mg), o K influenciou negativamente na concentração e acúmulo de Mg nos tecidos (Figuras 12, 13 e 14), resultados também obtidos por ADAMS & HENDERSON (1962) em plantas de trevo. Este antagonismo foi mais pronunciado nas folhas e na parte aérea, sendo que em ambos os casos, o K inibiu a absorção de Mg de forma mais acentuada que a absorção de Ca. Em plantas de centeio, sorgo e milho, SOARES (1975), ROSOLEM et al. (1984) e MORTVEDT & KHASAWNEH (1986), respectivamente, também obtiveram resultados semelhantes. Neste sentido, MIRANDA et al. (1984) constataram manifestação de sintomas de deficiência de Mg em plantas de soja, induzidas por níveis elevados de K no solo.

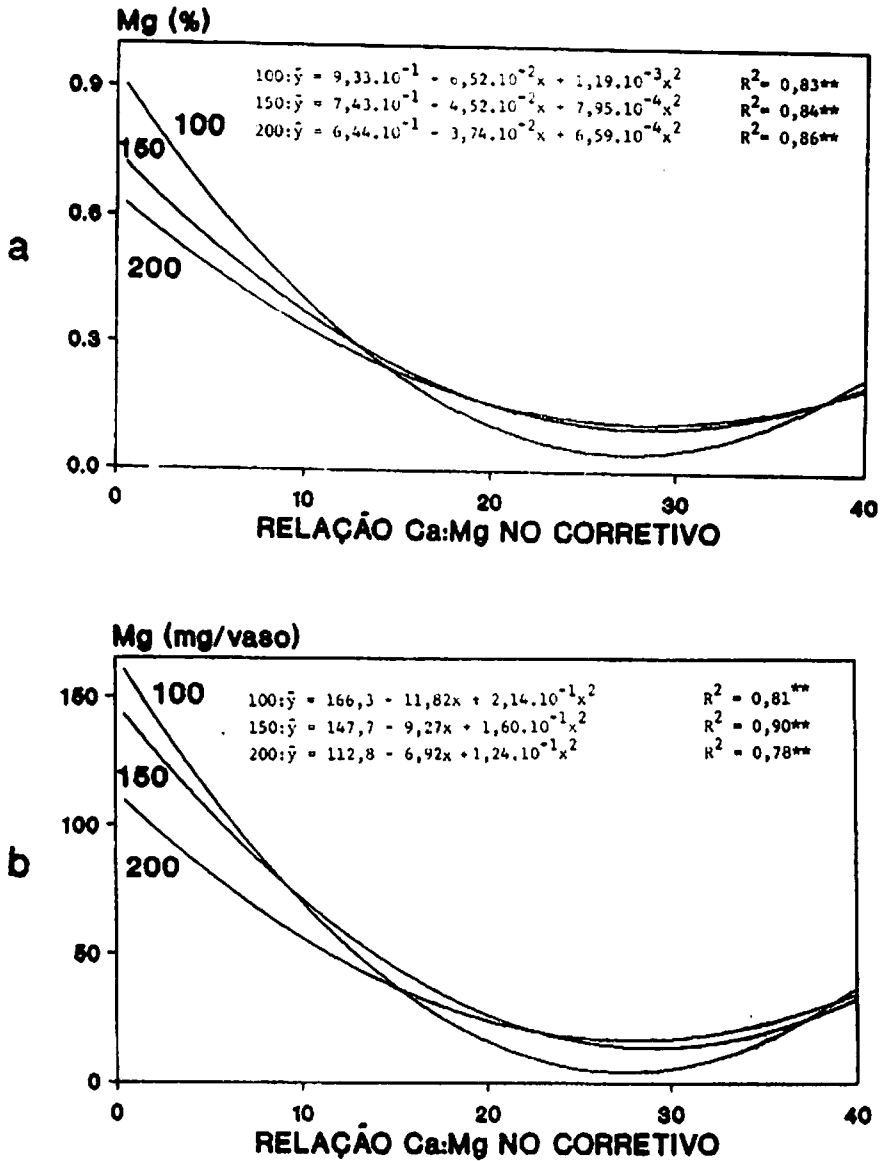


FIGURA 12. Teor (a) e acúmulo (b) de Mg nas folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

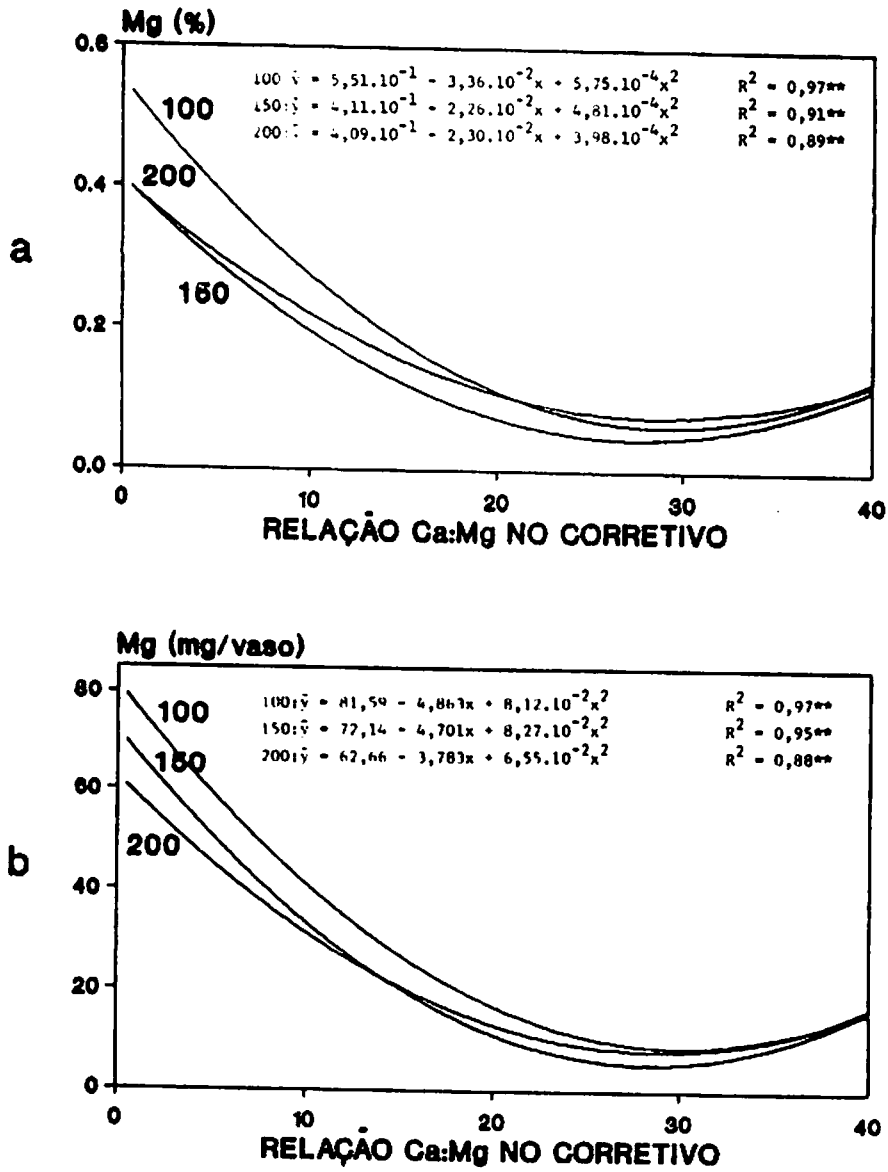


FIGURA 13. Teor (a) e acúmulo (b) de Mg no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

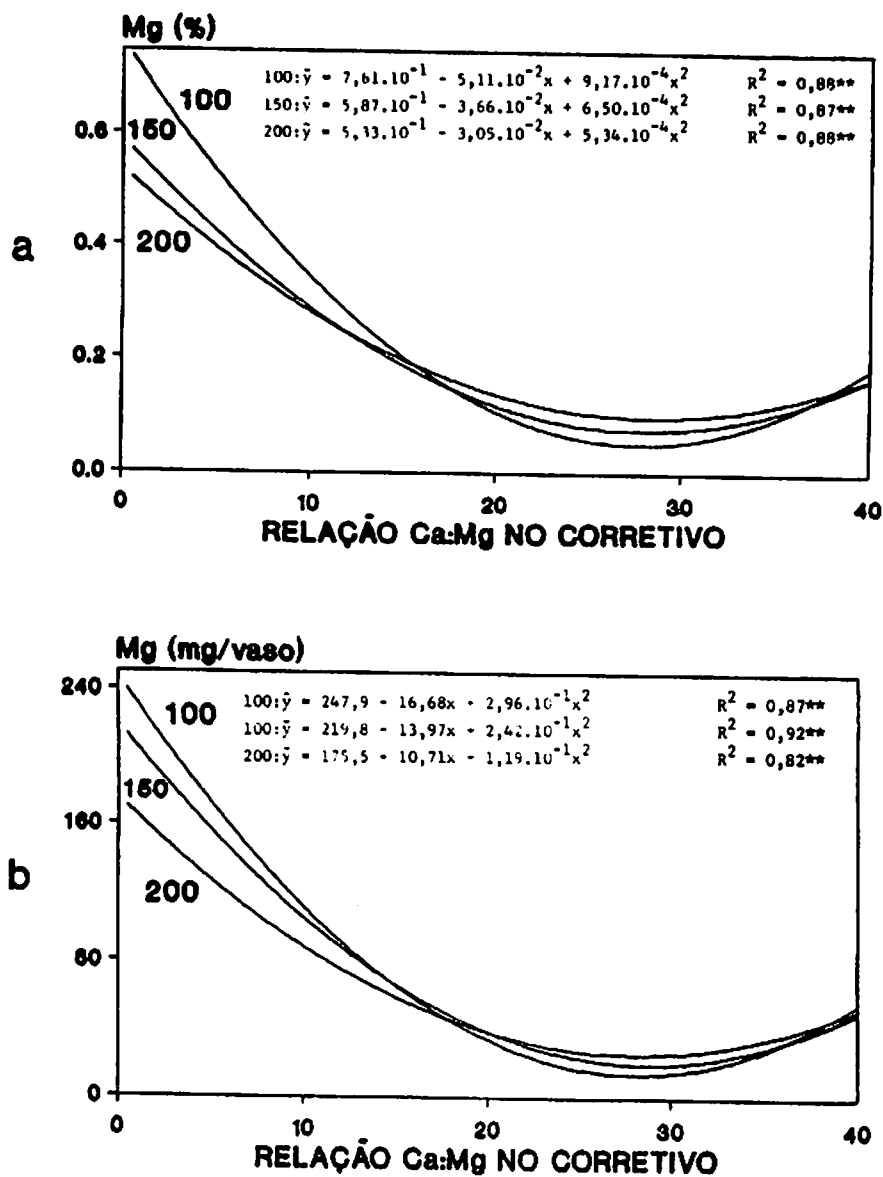


FIGURA 14. Teor (a) e acúmulo (b) de Mg na parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

O teor e o acúmulo de K nas folhas, caule e parte aérea, sob influência das relações Ca:Mg e doses de K são mostrados nas Figuras 15, 16 e 17, respectivamente. Observa-se que a relação Ca:Mg influenciou linearmente no teor e no acúmulo de K no caule (nas doses de 100 e 200 ppm de K) e na parte aérea (nas doses de 200 e 100 ppm de K, respectivamente para teor e acúmulo), causando decréscimos destes com aumento na proporção de Ca no corretivo. Verifica-se ainda que tanto o acúmulo de K nas folhas como o seu teor na parte aérea não foram afetados significativamente pelas relação Ca:Mg quando se aplicou 100 ou 150 ppm de K. Nas demais condições, o teor e o acúmulo de K relacionaram-se de forma quadrática com a relação Ca:Mg, tendendo a reduzir com aumentos desta, à excessão do teor foliar que foi influenciado linearmente pelos níveis de K apenas.

Apesar de não se obter boas correlações entre os teores de K no solo e na planta (Quadro 7), verifica-se nas Figuras 15, 16 e 17, um acréscimo na absorção e acúmulo de K na planta com o aumento nos níveis do nutriente aplicado.

A ausência do efeito antagônico do Mg sobre a concentração e acúmulo de K observada nas Figuras 15, 16 e 17, também foi constatada por OMAR & KOBIA (1966) em plantas de alfafa, que atribuíram este fato à maior habilidade das raízes em absorver o K seletivamente. Por outro lado, FAGERIA (1974) menciona que em condições de elevada disponibilidade, o Mg pode inibir a absorção de K, como resultado de uma competição pelos sítios dos

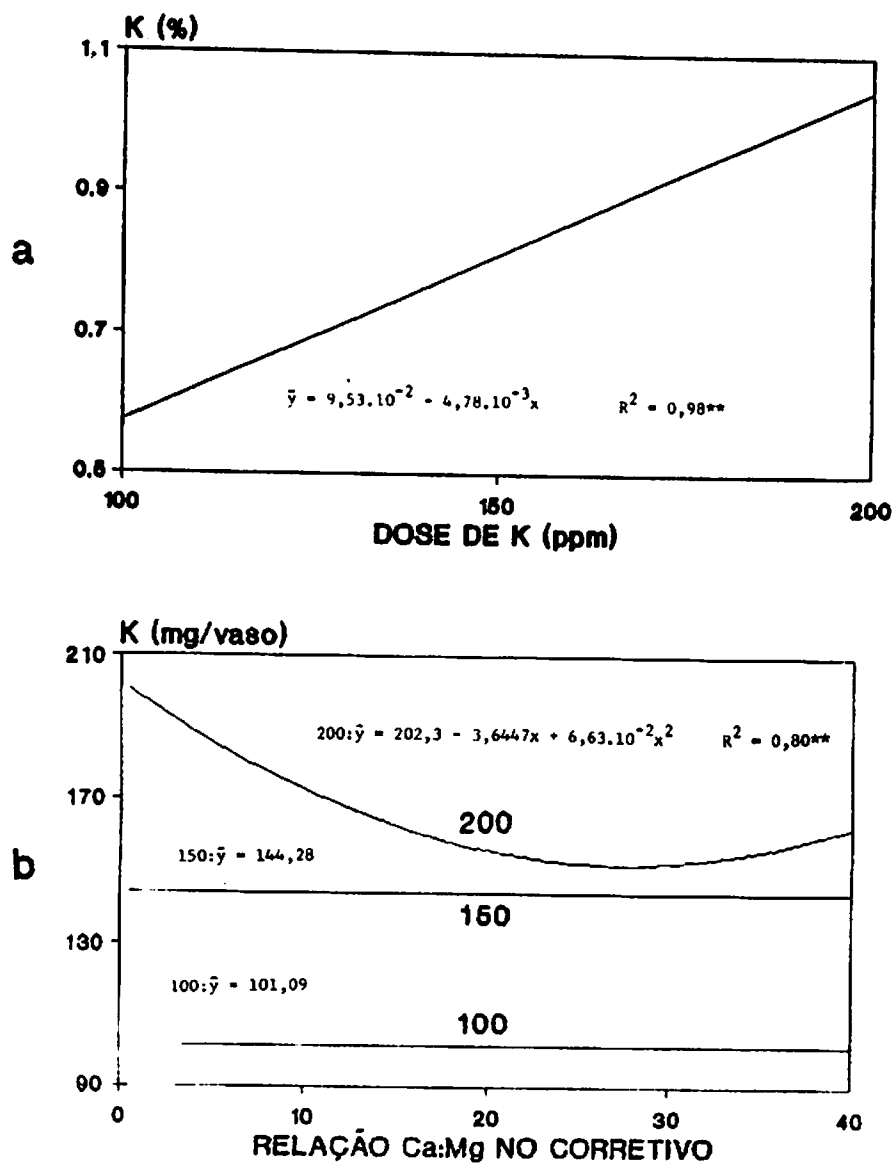


FIGURA 15. Teor (a) e acúmulo (b) de K nas folhas em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

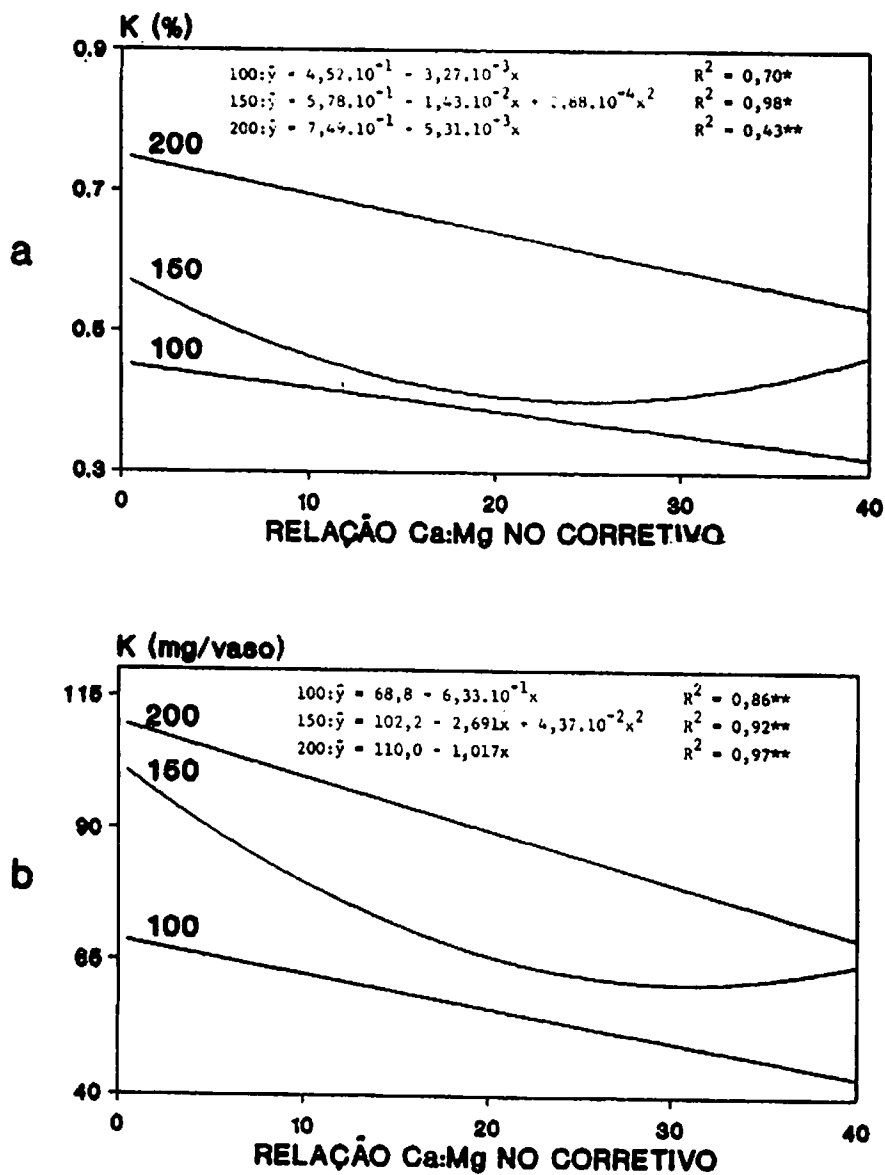


FIGURA 16. Teor (a) e acúmulo (b) de K no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

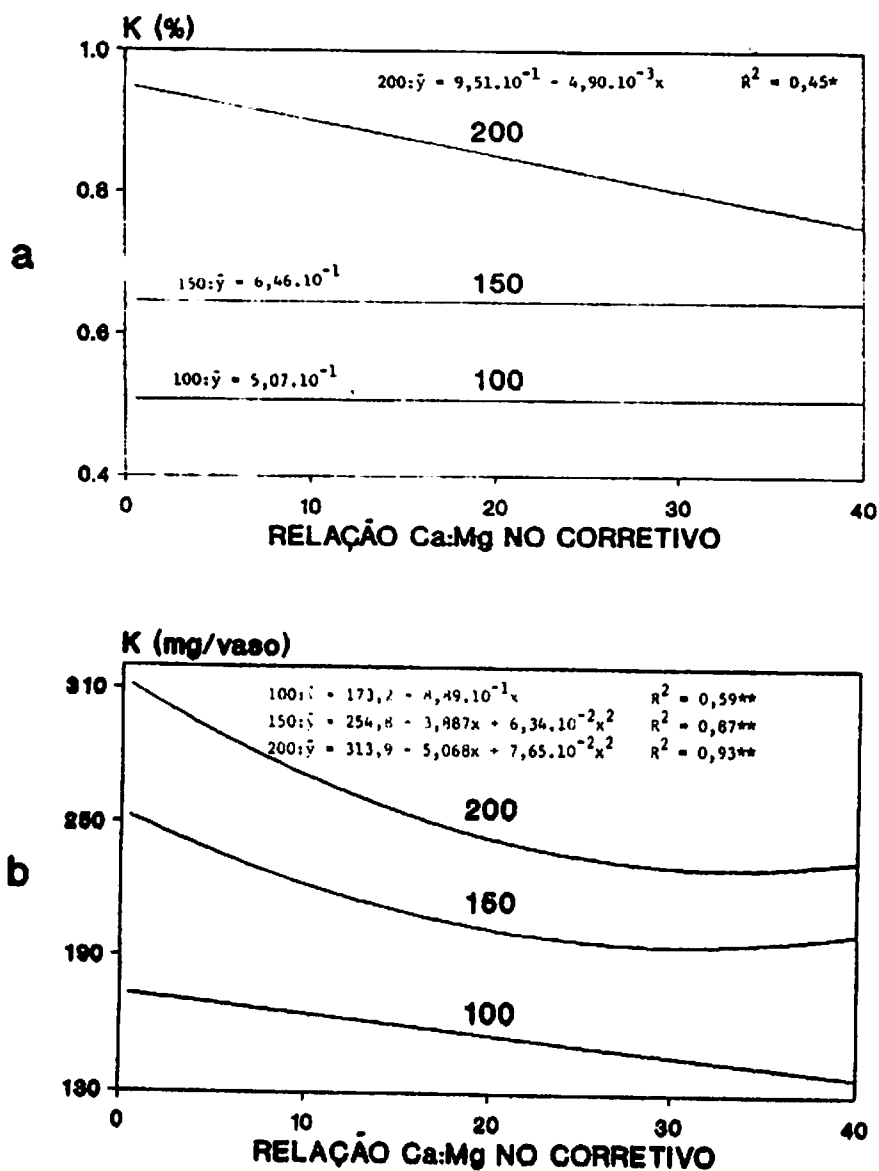


FIGURA 17. Teor (a) e acúmulo (b) de K na parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

carregadores. Esta hipótese, contudo, é contestada por OHNO & GRUNES (1985), que sugerem que o mecanismo de interação antagônica entre o Mg e o K é baseado na restrição da translocação do Mg das raízes para a parte aérea e não na competição pelos sítios dos carregadores.

A análise de variância dos dados de teor total de cátions nas folhas, caule e parte aérea, calculado a partir da somatória dos teores equivalente de Ca, Mg e K (Apêndice 10), mostrou que este parâmetro foi influenciado significativamente apenas pelas doses de K, exceto no caule, onde verificou-se efeito da relação Ca:Mg quando se aplicou 100 ppm de K.

Na Figura 18 é apresentada a soma de cátions nas folhas, caule e parte aérea sob influência dos tratamentos aplicados. Observa-se que apesar de haver um decréscimo linear na soma de cátions nas folhas e na parte aérea com o aumento nos níveis de K, esta diferença apresenta uma amplitude bastante reduzida. No caule, por outro lado, verificou-se uma ampla variação na soma de cátions com os níveis de K, obtendo-se os menores valores com 150 ppm de K. Observa-se ainda que na dose de 100 ppm de K, a soma de cátions no caule reduziu linearmente com aumentos na relação Ca:Mg no corretivo.

Em diversos trabalhos, têm-se encontrado uma certa constância da soma de cátions nas diversas partes da planta, como citam LUCAS & SCARSETH (1947), BARBER (1972) e MENGEL & KIRKBY (1987). De acordo com os últimos autores, estas observações

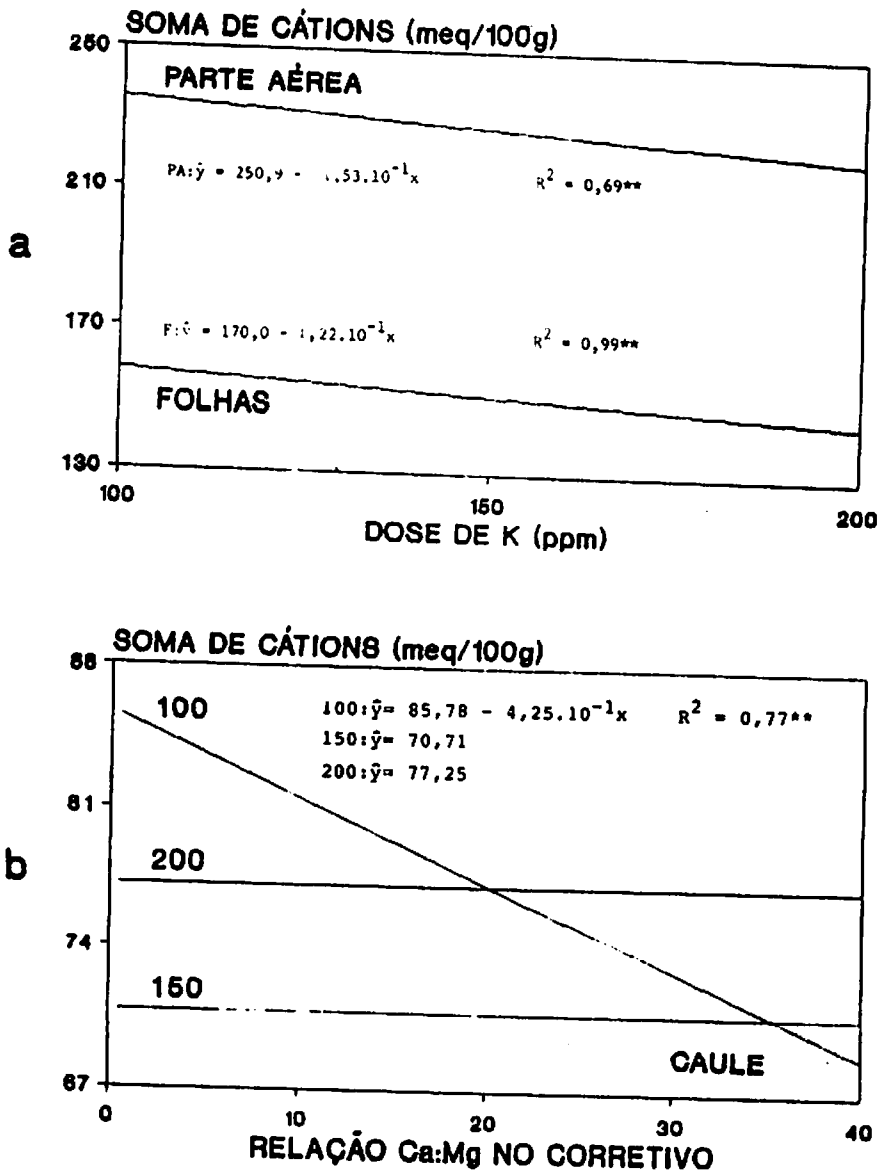


FIGURA 18. Soma de cátions (meq Ca + Mg + K/100 g de tecido) nas folhas e parte aérea em função das doses de K aplicadas (a) e no caule em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas (b).

sugerem a ocorrência de competição não específica entre os cátions pelos equivalentes aniônicos da plasmalema das células. Assim, o aumento na disponibilidade e absorção de uma espécie catiônica resultaria em uma equivalente redução na absorção dos demais cátions, em função da redução da atração eletrostática destes pela plasmalema.

No Quadro 8 são mostrados os efeitos dos tratamentos aplicados (Fatorial) sobre o crescimento e nutrição da soja, comparativamente à testemunha (solo natural), cujas análises de variância são apresentadas nos Apêndices 1 a 9. Pelos dados de produção de matéria seca, observa-se que a calagem e a adubação são práticas obrigatórias quando se pretende o crescimento e produção normal das plantas no solo utilizado. E através dos teores de macronutrientes observados nas partes das plantas, fica difícil o estabelecimento de quais os mais limitantes, devido ao efeito de diluição dos mesmos nos tecidos, resultante da grande resposta das plantas em crescimento às aplicações dos tratamentos. Porém, com base nos resultados da análise química realizada no solo natural (Quadro 1), pode-se concluir que trata-se de um solo ácido e de baixa fertilidade com limitações severas em todos os macronutrientes. Efeitos benéficos da calagem em solos ácidos no crescimento da soja, em função da neutralização de Al e redução da disponibilidade de Mn no solo, bem como do fornecimento de Ca e Mg, foram reportados por MARTINI et al. (1974), MASCARENHAS et al. (1982) e PALHANO et al. (1984).

QUADRO 8. Efeito dos tratamentos (fatorial) sobre o crescimento e nutrição em macronutrientes na soja.

Parâmetro	Testemunha ¹	Tratamentos em fatorial ²
- Peso seco (g/vaso)		
. Folhas	1,120	17,627**
. Caule	1,672	15,412**
. Parte aérea	2,792	33,039**
. Raízes	1,040	8,235**
- Teor de N (%)		
. Folhas	2,852	2,648
. Caule	3,730	1,425**
. Raízes	1,272	1,464*
- Teor de P (%)		
. Folhas	0,165	0,170
. Caule	0,058	0,095**
. Raízes	0,078	0,177**
- Teor de Ca (%)		
. Folhas	0,480	1,873**
. Caule	0,315	0,800**
. Raízes	0,050	0,671**
- Teor de Mg (%)		
. Folhas	0,425	0,457
. Caule	0,092	0,275**
. Raízes	0,028	0,274**
Teor de K (%)		
. Folhas	2,080	0,813**
. Caule	0,530	0,530
. Raízes	0,132	0,199

Testemunha : médias de 4 repetições

¹ Tratamentos em fatorial = médias de 72 repetições

OBS: ** e * = significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

E segundo BORKERT (1973), a correção da acidez do solo permite ainda um melhor funcionamento do processo simbiótico, aumentando o peso, número e atividade dos nódulos.

4.3. Eficiência de utilização de cálcio, magnésio e potássio

A obtenção de altas produtividades, em solos de baixa fertilidade, sempre esteve associada a práticas que permitam a neutralização de elementos tóxicos e a elevação da disponibilidade de nutrientes até a níveis que satisfaçam as exigências nutricionais das culturas. Porém, tem-se destacado nos últimos tempos, programas de melhoramento visando plantas adaptadas às condições adversas do solo, com maior eficiência de absorção e utilização dos nutrientes nos processos metabólicos.

A eficiência de utilização de um dado nutriente tem sido definida como sendo a quantidade de biomassa produzida por unidade do nutriente presente na biomassa (GERLOFF, 1976). Todavia, SIDDIQI & GLASS (1981) demonstraram haver várias restrições ao uso de um coeficiente de utilização nestes termos, de modo a propor uma alteração em sua definição. Assim sendo, optou-se pela adoção do índice de utilização proposto por estes autores, que considera o quadrado da quantidade de biomassa produzida por unidade do nutriente presente na biomassa.

As análises de variância dos dados de eficiência de utilização de Ca, Mg e K pela parte aérea da soja (Apêndice 11)

mostraram que os tratamentos influenciaram significativamente estes parâmetros, à excessão do efeito da relação Ca:Mg sobre a eficiência de utilização do K. O desdobramento das interações mostrou que as relações Ca:Mg afetaram significativamente a eficiência de utilização de Ca e Mg nas 3 doses de K.

O efeito das relações Ca:Mg no corretivo e dos níveis de K na eficiência de utilização de Ca é mostrado na Figura 19. Observa-se que este parâmetro foi afetado de forma quadrática pela relação Ca:Mg, decrescendo a medida em que se aumenta a proporção de Ca no corretivo. Este comportamento é explicado devido à maior absorção de Ca pelas plantas com o aumento da relação Ca:Mg no corretivo, bem como à redução no crescimento da planta no mesmo sentido. Constata-se ainda que em relações Ca:Mg bastante estreitas, houve uma redução na eficiência de utilização de Ca com a dose de 100 ppm de K, resultante da pequena produção de matéria seca pela planta e do maior acúmulo de Ca neste tratamento.

A eficiência de utilização do Mg sob influência das relações Ca:Mg e das doses de K é mostrada na Figura 20. Verifica-se que a relação Ca:Mg afetou este parâmetro de forma quadrática nas doses de 100 e 150 ppm e de forma linear na dose de 200 ppm de K. De modo contrário ao Ca, a eficiência de utilização de Mg aumentou com a elevação da relação Ca:Mg no corretivo. Isto possivelmente ocorreu devido a uma redução proporcionalmente maior na absorção de Mg em comparação à diminuição no crescimento, à medida em que

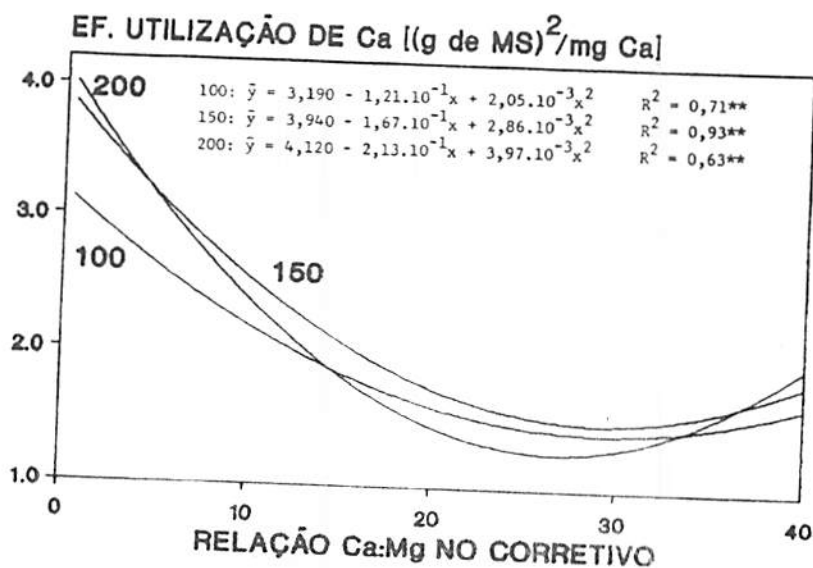


FIGURA 19. Eficiência de utilização de Ca em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

se reduziu a proporção de Mg no corretivo. A maior eficiência de utilização do Mg observada para a dose de 150 ppm de K é explicada em função da maior produção de matéria seca pela planta neste tratamento.

Apesar do Ca ter inibido a absorção do K, a eficiência de utilização do K não foi afetada pela relação Ca:Mg no corretivo (Apêndice 11), em função dessa diminuição no teor de K estar associada à redução no crescimento da planta. Na Figura 21, é apresentado o efeito das doses de K sobre sua eficiência de utilização. Observa-se uma relação linear inversa entre ambos, indicando que a resposta em crescimento obtido na dose de 150 ppm de K não foi tão pronunciado quanto o aumento na absorção do elemento.

Pelos resultados observados, pode-se inferir que a eficiência da planta em utilizar um certo nutriente pode ser alterada pela disponibilidade do mesmo no solo, bem como pelo equilíbrio com outros nutrientes.

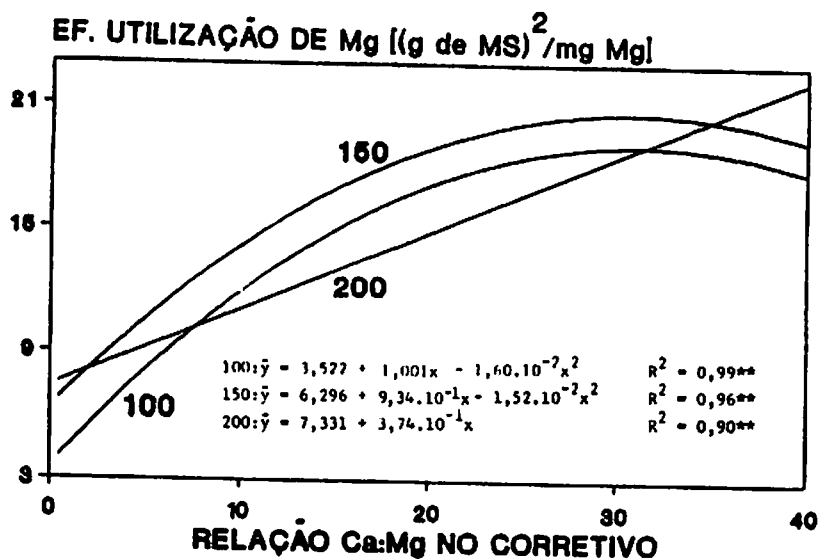


FIGURA 20. Eficiência de utilização de Mg em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

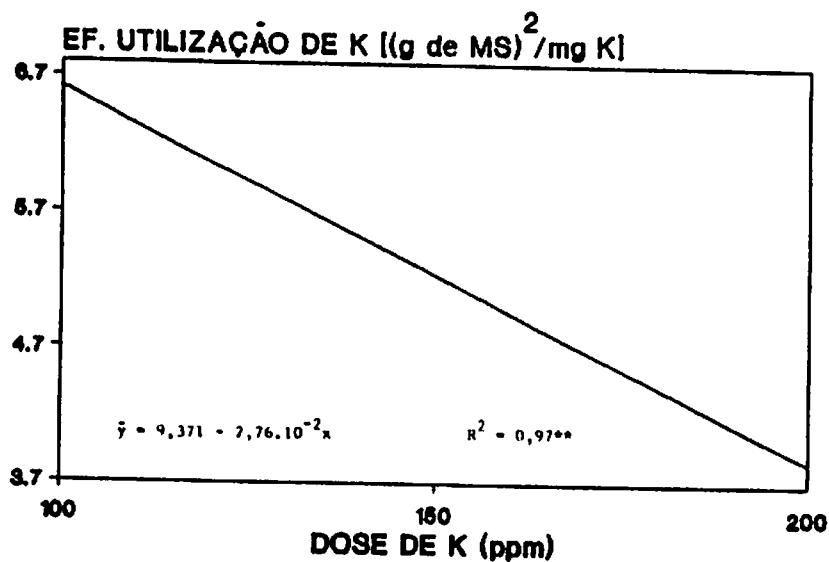


FIGURA 21. Eficiência de utilização de K em função das doses de K aplicadas.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvida a pesquisa, os resultados obtidos permitem concluir que a correção e adubação do solo utilizado afetou positivamente o crescimento e a nutrição da soja. Houve redução na produção de matéria seca de folhas, caule e parte aérea com aumentos na relação Ca:Mg no corretivo, sendo as maiores produções obtidas com a aplicação de 150 ppm de K. A concentração e o acúmulo de Ca, Mg e K nos tecidos foram influenciados pela disponibilidade destes nutrientes para as plantas, bem como pelo equilíbrio estabelecido entre os mesmos no solo. O fornecimento de Ca, Mg e K pelos tratamentos teve efeito negativo sobre a eficiência de utilização destes pelas plantas.

6. RESUMO

Com o objetivo de se avaliar o efeito do balanço entre Ca, Mg e K no solo sobre a produção de matéria seca, na absorção e na eficiência de utilização destes nutrientes por plantas de soja, instalou-se um experimento em casa de vegetação, na EMBRAPA-CNPSO, Londrina, PR, usando amostras de latossolo vermelho escuro de Ponta Grossa, PR. O ensaio foi conduzido em vasos sob delineamento inteiramente casualizado, esquema fatorial $6 \times 3 + 1$, com 4 repetições, sendo 6 relações equivalente de Ca:Mg no corretivo (1:2, 1:1, 5:1, 10:1, 20:1 e 40:1), obtidos pela aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 ; 3 doses de K (100, 150 e 200 ppm), pela adição de KH_2PO_4 , e uma testemunha com solo natural.

O solo estudado foi incubado com o material corretivo referente aos tratamentos, por 50 dias, quando se efetuou a aplicação de 300 ppm de P e dos tratamentos referentes às doses de K (KH_2PO_4 e H_3PO_4).

A colheita foi efetuada aos 85 dias do plantio e analisou-se as seguintes variáveis: produção de matéria seca, concentração e acúmulo de macronutrientes nas folhas, caule, parte aérea e raízes; teor total de cátions nas folhas, caule e parte aérea e eficiência de utilização de Ca, Mg e K.

A correção e adubação do solo utilizado afetou positivamente o crescimento e a nutrição da soja. Houve redução na produção de matéria seca de folhas, caule e parte aérea com aumentos na relação Ca:Mg no corretivo, sendo as maiores produções obtidas com a aplicação de 150 ppm de K. A concentração e o acúmulo de Ca, Mg e K nos tecidos foram influenciados pela disponibilidade destes nutrientes para as plantas, bem como pelo equilíbrio estabelecido entre os mesmos no solo. O fornecimento de Ca, Mg e K pelos tratamentos teve efeito negativo sobre a eficiência de utilização destes pelas plantas.

7. SUMMARY

In order to evaluate the effect of the balance of soil Ca, Mg and K on the soybean dry matter production, uptake and the utilization efficiency of these nutrients, an experiment was carried out in the glasshouse, at EMBRAPA-CNPSO, Londrina, PR, in a Dark Red Latosol. An experiment was conducted in a pot trial with completely randomized experimental design in a $6 \times 3 + 1$ factorial scheme, with four replicates, being six equivalent ratios Ca:Mg in the lime (1:2, 1:1, 5:1, 10:1, 20:1 and 40:1), obtained with the application of the CaCO_3 and MgCO_3 ; three levels of the K (100, 150 and 200 ppm), with KH_2PO_4 addition, and one proof without soil treatment.

The soil was incubated with lime treatments for 50 days, when was applied 300 ppm P and K levels (KH_2PO_4 and H_3PO_4).

The plants were harvested at 85 days after planting, and were analysed for the following parameters: dry matter production, concentration and accumulation of macronutrients in

leaves, stem, top, and roots; sum of cations in leaves, stem, and top and the utilization efficiency for Ca, Mg and K.

Liming and fertilization affected positively soybean growth and nutrition. There was a decreasing in dry matter production of leaves, stem, and top. With the increase in the lime Ca:Mg ratios, the highest productions were obtained with application of 150 ppm K. The concentration and accumulation of Ca, Mg and K in tissues was influenced by the availability of these nutrients to the plants and by their balance in the soil. The Ca, Mg and K supply by treatments had negative effect on utilization efficiency in plants.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAHÃO, I.O. Reservas brasileiras de calcário. In: MALA-VOLTA, E., coord. Seminário sobre corretivos agrícolas. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.205-55.
2. ADAMS, F. & HENDERSON, J.B. Magnesium availability as affected by deficient and adequate levels of potassium and lime. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 26(1):65-8, Jan./Feb. 1962.
3. ALCARDE, J.C. A avaliação da qualidade dos corretivos da acidez dos solos. Campinas, ASPROCAL, s.d. 40p.
4. ARAÚJO, F.P. de. Efeito da calagem na produção de matéria seca de soja (Glycine max L. Merrill), em três Latossolos sob cerrado: quantidade e relação CaO:MgO do corretivo. Lavras, ESAL, 1977. 67p. (Tese MS).

5. BARBER, S.A. Mechanism of potassium absorption by plants.
In: KILMER, V.J; YOUNTS, S.E. & BRADY, N.C., ed. **The role of potassium in agriculture.** Madison, American Society of Agronomy, 1972. p.293-310.
6. BATAGLIA, O.C. & MASCARENHAS, H.A.A. **Absorção de nutrientes pela soja.** Campinas, IAC, 1977. 36p. (IAC, Boletim Técnico, 41).
7. _____ & _____. **Nutrição mineral da soja.** In: FUNDAÇÃO CARGILL. **A soja no Brasil central.** 2.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1982. cap.4, p.115-33.
8. BEAR, F.C. & TOTH, S.J. Influence of calcium on availability of the soil cations. **Soil Science**, Baltimore, 63(1):69-74, Jan. 1948.
9. BORKERT, C.M. **Efeito do calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos Oxisolos - Santo Ângelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e rendimento de duas cultivares de soja.** Porto Alegre, UFRGS, 1973. 97p. (Tese MS).

10. BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. & SFREDO, G.J. Efeito de doses e de modos de aplicação de cloreto de potássio sobre o rendimento da soja. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina. Resultados de pesquisa de soja, 1986/87. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1988. p.130-4.
11. BULL, L.T. Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageira. Piracicaba, ESALQ, 1986. 107p. (Tese de Doutorado).
12. BUSSLER, W. The development of calcium deficiency symptoms. Zeitschrift Pflanzenernahrung, Dungung Bodenkundc,, Leipzig, 100:53-8, 1963.
13. CALDWELL, C.R. & HAUG, A. Divalent cation inhibition of barley root plasma membrane-bound Ca^{2+} -ATPase activity and its reversal by monovalent cations. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 54(1):112-8, 1982.
14. CARMELLO, Q.A. de C. Saturação por bases e relações entre K, Ca e Mg do solo na nutrição potássica do milho (Zea mays L.) cv. Piranão. Piracicaba, ESALQ, 1989. 105p. (Tese de Doutorado).

15. CASTRO, A.F. de & MENEGHELLI, N. do A. As relações $K^+ / (Ca^{++} + Mg^{++})^{1/2}$ e $K^+ / (Ca^{++} + Mg^{++})$ no solo e as respostas a adubação potássica. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 24(6):751-60, jun. 1989.
16. CHEESEMAN, J.M. & HANSON, J.B. Energy-linked potassium influx as related to cell potential in corn roots. *Plant Physiology*, Maryland, 64(5):842-5, Nov. 1979.
17. CLARK, R.B. Physiological aspects of calcium, magnesium, and molybdenum deficiencies in plants. In: ADAMS, F., ed. *Soil acidity and liming*. 2.ed. Madison, American Society Agronomy, 1984. chap.3, p.99-170. (Agronomy, 12).
18. CLARKSON, D.T. & SANDERSON, J. Sites of absorption and translocation of iron in barley roots. Tracer and microautoradiographic studies. *Plant Physiology*, Pennsylvania, 61(5):731-6, May 1978.
19. CORDEIRO, D.S.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; SARRUGE, J.R.; PALHANO, J.B. & CAMPO, R.J. Calagem, adubação e nutrição mineral. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Ecologia, manejo e adubação da soja*. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1979. p.19-49. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 2).

20. DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties including statistic of measurement and samplig.** Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.545-67. (Agronomy, 9).
21. DE MOOY, C.J.; PESEK, J. & SPADON, E. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E., ed. **Soybean; improvement, production, and uses.** Madison, American Society of Agronomy, 1973. p.267-352. (Agronomy, 16).
22. DUKE, S.H. & COLLINS, M. Role of potassium in legume dinitrogen fixation. In: MUNSON, R.D., ed. **Potassium in agriculture,** Madison, American Society of Agronomy, 1985. p.443-65.
23. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1990/91.** Cascavel, OCEPAR/EMBRAPA-CNPSO, 1990. 100p. (Documentos, 42).
24. _____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 1979. n.p.

10. ... Particle size distribution and ... analysis ...
 ... Method of soil analysis: physical and ...
 ... including state of ...
 ... American Society of Agronomy ...
 ... 1958 ...

11. ... 1958 ...
 ...
 ...
 ...
 ...

12. ...
 ...
 ...
 ...
 ...

13. ...
 ...
 ...
 ...
 ...

14. ...
 ...
 ...
 ...
 ...

25. EPSTEIN, E. *Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas*. São Paulo, EDUSP, 1975. 341p.
26. FAGERIA, N.K. Absorption of magnesium and its influence on the uptake of phosphorus, potassium, and calcium by intact groundnut plants. *Plant and Soil, Holland*, 40(2):313-20, Apr. 1974.
27. GAUCH, H.G. Response of the bean plant to calcium deficiency. *Plant Physiology, Pennsylvania*, 15(1):1-21, Jan. 1940.
28. GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium. In: WRIGHT, M.J., ed. *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. New York, Cornell University, 1976. p.161-73.
29. HANWAY, J.J. & THOMPSON, H.E. *How a soybean plant develops*. Iowa, Iowa State University of Science and Technology. 1971. 81p.
30. KAHN, J.S. & HANSON, J.B. The effect of calcium on potassium accumulation in corn and soybean roots. *Plant Physiology, Pennsylvania*, 32(4):312-6, July 1957.

31. KEY, J.L.; KURTZ, L.T. & TUCKER, B.B. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. *Soil Science*, Baltimore, 93(4):265-70, Apr. 1962.
32. LAUCHLI, A. & PFLUGER, R. Potassium transport through plant cell membranes and metabolic role of potassium in plants. In: INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. *Potassium research; review and trends*. Bern, International Potash Institute, 1979. p.111-63.
33. LEONARD, R.T. Absorption of potassium into root cells. In: MUNSON, R.D., ed. *Potassium in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1985. p.327-35.
34. LIN, W. Energetics of membrane transport in protoplasts. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 65(1):102-8, Sept. 1985.
35. LOUÉ, A. The interaction of potassium with other growth factors, particularly with nutrients. In: INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. *Potassium research; review and trends*. Bern, International Potash Institute, 1979. p.407-33.

36. LUCAS, R.E. & SCARSETH, G.D. Potassium, calcium, and magnesium balance and reciprocal relationship in plants. *Journal of the American Society of Agronomy*, New York, 39(10):887-96, Oct. 1947.
37. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 254p.
38. _____ & CROCOMO, O.J. Funções do potássio nas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais... Piracicaba, IAPAR/IPF, IIP, 1982. p.95-162.
39. MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Florida, Academic Press, 1985. 674p.
40. MARTINI, J.A.; KOCHHANN, R.A.; SIQUEIRA, J.O. & BORKERT, C.M. Response of soybeans to liming as related to soil acidity, Al and Mn toxicities, and P in some Oxisols of Brazil. *Soil Science of America Proceedings*, Madison, 38(4):616-20, July/Aug. 1974.

41. MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C.; NAGAI, V. & FALIVENE, S.M.P. Diferentes proporções de calcário calcítico e dolomítico no crescimento da soja em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3, Campinas, 1984. Anais... Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1984. p.852-63.
42. _____; BRAGA, N.R.; BULISANI, E.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Efeito do corretivo sobre soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, Brasília, 1981. Anais..., Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1982. V.2, p.567-73.
43. _____; BULISANI, E.; MIRANDA, M.A.C. de; PEREIRA, J.C.V. N.A. & BRAGA, N.R. Deficiência de potássio em soja no Estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. Piracicaba, POTAFOS, 1988. 12p. (POTAFOS. Informações Agronômicas, 42).
44. _____; MIRANDA, M.A.C. de; LELIS, L.G.L.; BULISANI, E.A.; BRAGA, N.R. & PEREIRA, J.C.V.N.A. Haste verde e retenção foliar em soja por deficiência de potássio. Piracicaba, POTAFOS, 1987. 12p. (POTAFOS. Informações Agronômicas, 39).

45. MATSUMOTO, H. & YAMAYA, T. Repression of the K^+ uptake and cation-stimulated ATPase activity associated with the plasma membrane-enriched fraction of cucumber roots due to Ca^{2+} starvation. *Plant and Cell Physiology*, Kyoto, 25(8):1501-11, Dec. 1984.
46. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4.ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 687p.
47. _____ & SCHUBERT, S. Active extrusion of protons into deionized water by roots of intact maize plants. *Plant Physiology*, Baltimore, 79(1):344-8, 1985.
48. MIRANDA, M.A.C.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. & FALIVENE, S.M.P. Clorose internerval em folhas de soja produzida por deficiência de magnésio. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3, Campinas, 1984. *Anais...* Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1984. p.703-8.
49. MORTVEDT, J.J. & KHASAWNEH, F.E. Effects of growth responses on cationic relationships in plants. *Soil Science*, Baltimore, 141(3):200-7, Mar. 1986.

50. MUCHOVEJ, R.M.C.; BORGES, A.C; NOVAIS, R.F. & THIEBAUT, J.T.L. Effect of liming levels and Ca:Mg ratios on yield, nitrogen content and nodulation of soybeans grown in acid Cerrado soil. *Journal of Soil Science, Oxford*, 37(2): 235-40, June 1986.
51. OHNO, T. & GRUNES, D.L. Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, 49(3):685-90, Mar./ June 1985.
52. OMAR, M.A. & KOBBI, T. el. Some observations on the inter-relationships of potassium and magnesium. *Soil Science, Baltimore*, 101(6):437-40, June 1966.
53. OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. & HANDLEY, R. The effect of calcium on the absorption of potassium by barley roots. *Plant Physiology, Pennsylvania*, 27(3):583-90, July 1952.
54. PALHANO, J.B.; SFREDO, G.J.; CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F. & BORKERT, C.M. *Calagem para soja. Recomendação para o Estado do Paraná*. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1984. 13p. (EMBRAPA-CNPSO. Comunicado Técnico, 28).

55. RAIJ, B. van & MASCARENHAS, H.A.A. Calibração de potássio e fósforo em solos para soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, 1976. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.309-15.
56. ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R. & BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, 19(12):1443-8, dez. 1984.
57. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.
58. SFREDO, G.J. Efeito das relações entre Ca e Mg sobre o pH, Al^{+++} , Ca^{++} e Mg^{++} no solo e sobre a produção de matéria seca do sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench). Viçosa, UFV, 1976. 61p. (Tese MS).
59. _____; LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J.; BORKERT, C.M. & OLIVEIRA, M.C.N de. Comportamento da queima foliar da soja ao se usar matéria orgânica e calcário. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Resultados de Pesquisa de Soja, 1987/88. Londrina, 1988. p.107-14. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 36).

60. SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4(3):289-302, 1981.
61. SILVA, J.E. da. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento do milho em solos sob cerrado. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 15(3):329-33, jul. 1980.
62. SILVA, R. da. Efeito de níveis de corretivo em diferentes relações Ca:Mg sobre o comportamento das variedades UFV-1 e IAC-2 da soja (Glycine max (L.) Merrill), em solo de cerrado. Viçosa, UFV, 1981. 35p. (Tese MS).
63. SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo; fundamentos e perspectivas. Brasília, MEC, ABEAS, ESAL, FAEPE, 1988. 235p.
64. SOARES, E. Influência da relação entre os teores trocáveis de cálcio e magnésio do solo na absorção de potássio pelo centeio (Secale cereale L.). Piracicaba, ESALQ, 1975. 73p. (Tese MS).

65. SOARES, E.; LIMA, L.A. de; MISCHAN, M.M.; MELLO, F. de A.F. de & BOARETTO, A.E. Efeito da adubação potássica na absorção do K, Ca e Mg por plantas de soja. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 58(3):141-57, out. 1983.
66. SOLERA, M.A.C. Efeito de relações Ca:Mg, utilizando carbonatos e sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana de açúcar. Viçosa, UFV, 1988. 186p. (Tese MS).
67. SPANSWICK, R.M. Eletronic ion pumps. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 32:267-89, 1981.
68. VETTORI, L. *Métodos de análises do solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
69. WANG, S.R. & Ma WANG, G. Sintomas de deficiência ou excesso do elemento nutricional em soja. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina. *Resultados de pesquisa de soja, 1977/78*. Londrina, 1979. p.85-7.

APÉNDICE

70. YAMADA, T. Potássio: funções na planta, dinâmica no solo, adubos e adubação potássica. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, 2, Londrina, 1988. Anais... Londrina, Assoc. Eng. Agr. Paraná - Núcleo de Londrina, 1988. p.1-26.

APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância e regressão da produção de matéria seca de folhas, caule, parte aérea e raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação	G.L.	Quadrado médio			
		Folhas	Caule	Parte aérea	Raízes
Relação Ca:Mg (R)	5	10,07	11,37*	41,69*	3,02
Dose de K (D)	2	20,58*	28,49**	97,45**	55,33**
Interação R x D	10	11,65*	7,59*	36,10*	10,28
Fatorial vs Test.	1	1032,55**	715,38**	3466,85**	196,17**
R:D ₁	(5)	(4,66)	(2,86)	(12,00)	-
RL	1	8,13	5,74	27,52	-
RQ	1	0,95	7,73	14,10	-
R:D ₂	(5)	(16,00)*	(10,91)*	(52,90)*	-
RL	1	64,38**	46,42**	220,14**	-
RQ	1	0,04	0,38	0,18	-
R:D ₃	(5)	(12,72)*	(12,78)**	(49,00)**	-
RL	1	0,28	8,25	11,57	-
RQ	1	7,06	3,59	20,71	-
Erro	57	5,10	3,49	15,77	5,52
C.V. (%)		13,47	12,71	12,63	29,90

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância e regressão do teor de N nas folhas, caule e raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Folhas	Caule	Raízes
Relação Ca:Mg (R)	5	0,0655	0,2102*	0,06683
Dose de K (D)	2	0,0954	0,2564*	0,03016
Interação R x D	10	0,1332	0,0580	0,04316
Fatorial vs Test.	1	0,1578	20,1263**	0,13860*
Erro	57	0,1278	0,0712	0,0323
C.V. (%)		13,45	17,25	12,36

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 3. Resumo da análise de variância e regressão do teor de P nas folhas, caule e raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Folhas	Caule	Raízes
Relação Ca:Mg (R)	5	0,000761	0,000356	0,003436
Dose de K (D)	2	0,000710	0,000704*	0,018229**
Interação R x D	10	0,000460	0,000213	0,002737
Fatorial vs Test.	1	0,000100	0,005448**	0,037580**
Erro	57	0,000575	0,000175	0,001575
C.V. (%)		14,12	14,14	23,09

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 4. Resumo da análise de variância e regressão do teor de Ca nas folhas, caule, parte aérea e raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação G.L.	Quadrado médio				
		Folhas	Caule	Parte aérea	Raízes
Relação Ca:Mg (R)	5	2,607**	0,7919**	1,6157**	0,4504**
Dose de K (D)	2	0,502**	0,0688**	0,2110**	0,1989*
Interação R x D	10	0,027	0,0207	0,0082	0,0925*
Fatorial vs Test.	1	7,357**	0,8899**	3,7203**	1,4612**
R:D ₁	(5)	(1,092)**	(0,2207)**	(0,5786)**	(0,0644)
RL	1	3,337**	0,5134**	1,7279**	0,1423**
RQ	1	1,150**	0,3490**	0,6702	0,1767**
R:D ₂	(5)	(0,839)**	(0,1963)**	(0,4610)**	(0,0790)
RL	1	2,358**	0,6197**	1,3887**	0,3521**
RQ	1	1,588**	0,1559**	0,6955**	0,0109
R:D ₃	(5)	(0,729)**	(0,4162)**	(0,5926)**	(0,4919)**
RL	1	2,260**	1,5392**	2,0255**	0,8652**
RQ	1	1,079**	0,3831**	0,6917**	1,4772**
Erro	57	0,043	0,0134	0,0214	0,0406
C.V. (%)		11,50	14,93	11,08	31,56

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

APENDICE 5. Resumo da análise de variância e regressão do acúmulo de Ca nas folhas, caule e parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação		G.L.		Quadrado médio	
Folhas					
Relação Ca:Mg (R)	5	57689**	14870**	130426**	
Dose de K (D)	2	24312**	1773*	38720**	
Interação R x D	10	2949	752	5499	
Fatorial vs Test.	1	389326**	51022**	722229**	
Parte aérea					
R:D ₁	(5)	(25142)**	(4888)**	(51005)**	
RT	1	63512**	6492**	110616**	
RQ	1	47167**	12901**	109399**	
R:D ₂	(5)	(19110)**	(3949)**	(39453)**	
RT	1	14325**	4764**	35610**	
RQ	1	56060**	5959**	98572**	
R:D ₃	(5)	(19336)**	(7536)**	(50966)**	
RT	1	62912**	25880**	169491**	
RQ	1	19150**	7464**	50524**	
Erro	57	2370	764	4079	
C.V. (%)		15,76	18,69	15,06	

** e * : Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 6. Resumo da análise de variância e regressão do teor de Mg nas folhas, caule, parte aérea e raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação G.L.		Quadrado médio			
		Folhas	Caule	Parte aérea	Raízes
Relação Ca:Mg (R)	5	0,9508**	0,2866**	0,5917**	0,05324**
Dose de K (D)	2	0,0920**	0,0491**	0,0689**	0,02588
Interação R x D	10	0,0238**	0,0057**	0,0137**	0,01269
Fatorial vs Test.	1	0,0039	0,1268**	0,0814**	0,23057**
R:D ₁	(5)	(0,5313)**	(0,1437)**	(0,3238)**	-
RL	1	1,4366**	0,5128**	0,9636**	-
RQ	1	0,7749**	0,1817**	0,4615**	-
R:D ₂	(5)	(0,2796)**	(0,0824)**	(0,1722)**	-
RL	1	0,8302**	0,2478**	0,5146**	-
RQ	1	0,3472**	0,1272**	0,2321**	-
R:D ₃	(5)	(0,1874)**	(0,0719)**	(0,1231)**	-
RL	1	0,5671**	0,2346**	0,3876**	-
RQ	1	0,2383**	0,0867**	0,1565**	-
Erro	57	0,0025	0,0015	0,0013	0,00878
C.V. (%)		11,02	14,76	10,04	35,88

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

APENDICE 7. Resumo da análise de variância e regressão do acúmulo de Mg nas folhas, caule e parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação G.L. Quadrado médio

	Folhas	Caule	Parte aérea
Relação Ca:Mg (R)	5	7715,5**	74372**
Dose de K (D)	2	709,9**	7024**
Interação R x D	10	76,0	1356**
Fatorial vs Test.	1	6357,3**	53049**

	R:D ₁	R:D ₂	R:D ₃	Erro	C.V. (%)
RL	1	1	1	57	16,54
RQ	1	1	1	167	10,59
RL	(5)	(5)	(5)	18,3	11,53
RL	(18123)**	(11589)**	(6707)**		
RL	48305**	38199**	17667**		
RQ	25248**	8955,7**	8458**		
RL	12014,6**	(2681,5)**	(1961,1)**		
RQ	3620,1**	8955,7**	6248,3**		
RL	(3224,9)**	(25367)**	(15807)**		
RQ	108502**	84148**	44930**		
RQ	47992**	32267**	19732**		

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

APENDICE 8. Resumo da análise de variância e regressão do teor de K nas folhas, caule, parte aérea e raízes em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação G.L.		Quadrado médio			
		Folhas	Caule	Parte aérea	Raízes
Relação Ca:Mg (R)	5	0,0211	0,55810**	0,02821**	0,04774
Dose de K (D)	2	1,3942**	0,45999**	0,89192**	0,11788
Interação R x D	10	0,0257	0,01744	0,01544*	0,04661
Fatorial vs Test.	1	6,0853**	0,00000	0,85191**	0,01663
R:D ₁	(5)	-	(0,01407)	(0,00542)	-
RL	1	-	0,04922*	0,00950	-
RQ	1	-	0,01364	0,01103	-
R:D ₂	(5)	-	(0,01652)	(0,00437)	-
RL	1	-	0,03502	0,00049	-
RQ	1	-	0,04561*	0,02122	-
R:D ₃	(5)	-	(0,06009)**	(0,04930)**	-
RL	1	-	0,12981**	0,11057**	-
RQ	1	-	0,00059	0,00489	-
Erro	57	0,0130	0,00969	0,00701	0,03959
C.V. (%)		12,99	18,57	11,87	101,91

** e * : Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

APENDICE 9. Resumo da análise de variância e regressão do acúmulo de K nas folhas, caule e parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação		G.L.		Folhas		Caule		Parte aérea	
Relação Ca:Mg (R)	5	1222**	2272**	6626**					
Dose de K (D)	2	36918**	8072**	79364**					
Interação R x D	10	650**	125	859*					
Fatorial vs Test.	1	52910**	19393**	136391**					
R:D ₁	(5)	(500)	(430)**	(1241)**					
RL	1	301	1846**	3637**					
RQ	1	105	92	394					
R:D ₂	(5)	(294)	(1112)**	(2432)**					
RL	1	765	4090**	8394**					
RQ	1	215	1050**	2208**					
R:D ₃	(5)	(1728)**	(982)**	(4672)**					
RL	1	4539**	4760**	18596**					
RQ	1	2415**	57	3211**					
Erro	57	213	97	341					
C.V. (%)	10,77	12,85	8,71						

** e * : Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 10. Resumo da análise de variância e regressão da soma de cátions (Ca + Mg + K) nas folhas, caule e parte aérea em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Folhas	Caule	Parte aérea
Relação Ca:Mg (R)	5	112,8	118,7	145,2
Dose de K (D)	2	895,4**	581,7**	2031,4**
Interação R x D	10	122,7	160,4*	420,9
Fatorial vs Test.	1	5991,0*	5829,7**	23642,2**
R:D ₁	(5)	-	(216,9)*	-
RL	1	-	831,1**	-
RQ	1	-	73,5	-
R:D ₂	(5)	-	(82,3)	-
RL	1	-	42,1	-
RQ	1	-	230,7	-
R:D ₃	(5)	-	(140,2)	-
RL	1	-	165,1	-
RQ	1	-	52,9	-
Erro	57	175,4	66,8	326,3
C.V. (%)		8,84	11,04	8,07

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

APÊNDICE 11. Resumo da análise de variância e regressão da eficiência de utilização de Ca, Mg e K em função das relações Ca:Mg no corretivo e das doses de K aplicadas.

Causa de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Ca	Mg	K
Relação Ca:Mg (R)	5	11,929**	404,219**	1,179
Dose de K (D)	2	1,504**	31,226*	47,087**
Interação R x D	10	0,739**	8,212	1,850
Fatorial vs Test.	1	13,985**	425,741**	94,409**
R:D ₁	(5)	(2,577)**	(148,459)**	-
RL	1	6,846**	596,127**	-
RQ	1	2,310**	141,008**	-
R:D ₂	(5)	(3,751)**	(129,634)**	-
RL	1	12,857**	496,708**	-
RQ	1	4,497**	126,054**	-
R:D ₃	(5)	(7,079)**	(142,551)**	-
RL	1	13,530**	644,205**	-
RQ	1	8,636**	20,813	-
Erro	57	0,253	9,211	1,243
C.V. (%)		19,59	26,88	22,41

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.