

**INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO ENTRE TEORES TROCÁVEIS DE
CÁLCIO E MAGNÉSIO DO SOLO NA ABSORÇÃO DE POTÁSSIO
PELO CENTEIO (Secale cereale L.)**

EDMIR SOARES

Engenheiro Agrônomo

Prof. Dr. Francisco Assis Ferraz de Mello
Orientador

*Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura «Luiz de
Queiroz», da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
M E S T R E .*

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
1975

"IN MEMORIAM"

DE MINHA MÃE ALICE

À minha esposa Maria Estela e meu filho Luiz Fernando.

Ao meu pai e irmãos.

O nosso reconhecimento às seguintes pessoas e entidades:

Ao Dr. Francisco Assis Ferraz de Mello, Professor Livre-Docente do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pelo seu interesse, orientação e elevado sentido de ciência que sempre procurou transmitir.

Ao Dr. Renato Amilcare Catani, Professor Catedrático do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela iniciação científica neste campo de trabalho, durante o Curso de Pós-Graduação que concluímos nessa Escola.

Aos colegas do Departamento de Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, em especial aos Profs. Drs. Antenor Pasqual, Júlio Nakagawa, Leonía Aparecida de Lima e Affonso Maria de Carvalho, pelo apoio, críticas e sugestões ao presente trabalho.

Aos Drs. Bernard van Raij e Ondino Cleante Bataglia, do Instituto Agronômico de São Paulo, pelas sugestões nas análises químicas.

À Dr^a Martha Maria Michan, Professora Assistente Dr^a do Departamento de Matemática e Física da Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, pela ajuda na análise estatística dos dados.

Aos Srs. Francisco Martins Filho, Oswaldo Rodrigues Caldas e à Sra. Edna Maria Pacheco da Silva, pela parte gráfica. A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa, pela bolsa de Pesquisa
dor Científico (T.C. 15.627).

À Seção de Fertilidade do Solo do Instituto Agronômico de
São Paulo que autorizou nossa frequência ao Curso de Pós-Gradua
ção no Campus de Piracicaba, U.S.P., permitindo ainda a execu
ção deste trabalho.

À Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu
pelas facilidades oferecidas durante a conclusão deste trabalho.

I N D I C E

	<u>Página</u>
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1. - Interrelação entre os cátions cálcio, magnésio e potássio	3
2.2. - Relação de atividade para o íon potássio	11
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1. - Localização do ensaio	13
3.2. - Solos utilizados	13
3.2.1. - Amostragem e análises químicas dos so- los	14
3.3. Delineamento experimental	16
3.4. Instalação e condução do experimento	19
3.5. Determinação em laboratório	21
3.5.1. - Análises químicas dos solos	21
3.5.2. - Determinação da relação de atividade pa- ra o íon potássio nos solos dos ensaios.	21
3.5.3. - Análise química do material vegetal	23
3.6. - Análises estatísticas	24
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. - Efeito dos tratamentos na produção de matéria seca, nos teores de Ca, Mg e K na planta, e no teor de potássio disponível	26
4.1.1. - Produção de matéria seca	26
4.1.2. - Concentração de potássio na parte aé- rea	28

4.1.3. - Concentração de cálcio na parte aérea.	31
4.1.4. - Concentração de magnésio na parte aérea	33
4.1.5. - Teor de potássio disponível	34
4.2. - Efeito dos tratamentos na relação de atividade para o íon potássio	35
5 - CONCLUSÕES	57
6 - RESUMO	58
7 - SUMMARY	61
8 - LITERATURA CITADA	63

LISTA DE QUADROS

	<u>Página</u>
1 - Algumas características químicas e mecânicas dos solos estudados (profundidade 0-20 cm)	15
2 - Teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis extraídos com solução 0,05 N de HNO_3 , nos dois solos em estudo	16
3 - Quantidades em gramas de CaCO_3 e MgO , adicionadas nos solos LVa e LE	17
4 - Níveis de K, Ca, Mg, N, P e valores da relação Ca/Mg, aplicados nos solos em estudo	18
5 - Produção de matéria seca e concentração de Ca, Mg e K nas plantas de centeio colhidas 65 dias após a germinação, no solo LVa	38
6 - Produção de matéria seca e concentração de Ca, Mg e K nas plantas de centeio colhidas 65 dias após a germinação no solo LE	39
7 - Valores de F, na análise de variância dos resultados obtidos para matéria seca, concentração de K, Ca e Mg na planta, potássio disponível e relação de atividade, nos solos LVa e LE	40
8 - Valores de F, obtidos com o desdobramento dos componentes de 1º e 2º grau da análise de variância para os resultados obtidos de matéria seca, concentração de K e de Ca na planta e relação de atividade, nos solos LVa e LE	41
9 - Equação de regressão linear e teste t, entre os valores de: Ca/Mg versus concentração de K, na planta; Ca/Mg versus potássio disponível e Ca/Mg versus relação de atividade, em ambos os solos	42

10 - Valores do teste F, estimativas dos parâmetros e respectivos teste t e coeficientes de determinação (R^2) para a regressão assintótica ajustada aos dados de produção de matéria seca, concentração (%) de Ca e Mg na planta e relação de atividade para o íon potássio, em ambos os solos utilizados	43
11 - Teores médios de Ca, Mg e K trocáveis extraídos em HNO_3 0,05 N e valores pH determinados em ambos os solos	44
12 - Concentração dos cátions Ca, Mg e K na solução de equilíbrio e relação de atividade para o íon potássio em relação aos íons cálcio e magnésio	45
13 - Coeficientes de correlação r e teste t, entre os valores de: RA_K versus matéria seca; RA_K versus concentração de potássio na planta e RA_K versus potássio disponível	46

LISTA DE FIGURAS

Página

- 1 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus produção de matéria seca de centeio, solo LVa 47
- 2 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração de cálcio na planta, solo LVa 48
- 3 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração de magnésio na planta, solo LVa 49
- 4 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus produção de matéria seca de centeio, solo LE 50
- 5 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração de cálcio na planta, solo LE 51
- 6 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração de magnésio na planta, solo LE 52
- 7 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus valores da relação de atividade para o íon potássio, solo LE 53
- 8 - Relação entre os valores da relação Ca/Mg e concentração de potássio na planta, solo LVa 54
- 9 - Relação entre os valores da relação Ca/Mg e valores da relação de atividade para o íon potássio, solo LVa ... 55
- 10 - Relação entre os valores da relação Ca/Mg e concentração de potássio na planta, solo LE 56

1 - INTRODUÇÃO

Um dos problemas encontrados na fertilização dos solos, está em se provê-los com um adequado balanço catiônico no complexo de troca do solo. Problema esse, que tem sido fonte de preocupação, relativamente antiga, de inúmeros pesquisadores empenhados em esclarecer a interação entre os cátions sobre suas disponibilidades e possibilidades de absorção pelas plantas.

Evidências bastante claras da ocorrência de antagonismo entre os cátions cálcio, magnésio e potássio, têm sido demonstradas por grande número de trabalhos (ANDERSON & MARTIN, 3 e BOWER & PIERRE, 19).

Entretanto, o grau de dependência da absorção de um dos cátions pela planta, sobre a concentração dos outros cátions no solo, parece ainda não estar bem nítido, pois trabalhos publicados a respeito, conduzem a conclusões por vezes bastante divergentes. Esses trabalhos, permitem que se considerem ora o cálcio em altos níveis (MEDVEDEVA, 50 e 51), ora o mesmo em baixos níveis (YORK et alii, 76), ou níveis altos de cálcio e magnésio (BARROWS & DROSDOFF, 8 e BARROWS et alii, 9) ou ainda o valor da relação Ca/Mg (TEWARI et alii, 67), como importantes fatores que controlam a absorção de potássio pelas plantas.

Por outro lado, parece que sob certas condições, o cálcio e o magnésio podem estimular a absorção de potássio pelas plan-

tas como demonstram os trabalhos de VIETS (70) e de OVERSTREET et alii (57).

Mas não somente o cálcio e o magnésio podem influenciar a absorção de potássio, pois outros pesquisadores (MARTIN et alii, 49, OMAR & KOBBI, 56 e YORK et alii, 77) têm demonstrado que adições excessivas de potássio podem inibir a absorção de cálcio e magnésio pela planta.

Há de se lembrar, ainda, que alguns trabalhos (MacLEAN, 43 e TINKER, 65) mostram haver correlação positiva entre o potencial de potássio - cálcio com o crescimento da planta e quantidade de potássio por elas extraídas.

Em decorrência disto, propõe-se a estudar neste trabalho, a influência da relação Ca/Mg e da relação de atividade do potássio, dentro de dois níveis de potássio, sobre a produção de matéria seca e absorção de potássio pelo centeio cultivado nos solos Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa e no Latossolo Vermelho Escuro - Orto.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1. - Interrelação entre os cátions cálcio, magnésio e potássio

O estudo da interrelação entre os cátions, cálcio, magnésio e potássio é um assunto que tem despertado a atenção de muitos pesquisadores, tendo dado margem a conclusões por vezes bastante divergentes, como pode ser observado no decorrer desta revisão de literatura, sobre o assunto.

EHRENBERG em 1939, citado por PIERRE e BOWER (60), foi um dos primeiros pesquisadores a atribuir baixas produções e o decréscimo na absorção de potássio pelas plantas a um possível efeito antagônico entre os cátions cálcio e potássio.

Assim como EHRENBERG, muitos outros pesquisadores (MEDVEDEVA, 50 e 51; KHAN e HANSON, 36; WELTE e WERNER, 71; PATHAK e KABRA, 59) têm encontrado, em seus estudos, evidências bastante claras da ocorrência de antagonismo entre esses dois cátions.

BEAR e PRINCE (10), LUCAS e SCARSETH (41), WOODBRIDGE (73), demonstraram que, de modo geral, o aumento no teor de um cátion na planta geralmente reduz o teor de um ou mais cátions.

O efeito antagônico entre os cátions cálcio, magnésio e potássio, parece ainda não estar bem nítido, pois de modo geral, tanto o cálcio e magnésio podem deprimir a absorção de potássio, como este também pode deprimir a absorção dos outros dois cátions pelas plantas, e sob certas condições o cálcio e o magné-

sio podem ainda estimular a absorção do potássio.

COLLANDER (24), realizando estudos sobre a seletividade na absorção de cátions pelas plantas em solução nutritiva, observou que a absorção de potássio foi fracamente influenciada pela adição de cálcio.

Também van ITALLIE (68 e 69) observou, em seus estudos sobre o equilíbrio entre cátions na planta, não haver qualquer influência na absorção de potássio quando se adicionava cálcio a solos e concluiu que a absorção de potássio é dependente da concentração do cátion no solo.

BLANCHAR e HOSSNER (17), promovendo estudo sobre o balanço iônico em solos, notaram que, com a mudança na atividade do íon potássio e do magnésio na solução do solo, promovia pequeno efeito negativo sobre o teor de cálcio nas plantas de milho.

A ausência do efeito antagônico entre os cátions cálcio e potássio também foi verificado por PANDEI (58) quando estudou esse problema em plantas de feijão e girassol cultivadas em solução nutritiva.

YANDERSON e MARTIN (3) e BOWER e PIERRE (19) observaram que a absorção de potássio pelas plantas foi bastante deprimida pelo aumento da concentração de cálcio ou de cálcio e magnésio na solução do solo.

YORK et alii (76), utilizando alfafa como planta teste em estudos realizados em vasos, mostraram que, com a adição de

quantidades correspondentes a 3 t/ha de calcário, ocorria uma sensível redução na concentração de potássio na planta. Contudo a redução foi menor com a aplicação de 6,5 t/ha de calcário e, quando a quantidade aplicada ultrapassava esse valor, a concentração de potássio na planta aumentava.

TEWARI et alii (67), em estudos sobre a influência da interrelação entre os cátions cálcio, magnésio e potássio no desenvolvimento de plantas de ervilha, cultivadas em solução nutritiva e também em mistura de areia e argila, com as relações: Ca:Mg de 1:1, 2:1, 4:1, 8:1, 1:2 e 1:4 e de Mg:K de 1:1, 2:1, 4:1, 1:2 e 1:4, verificaram a existência de uma estreita relação entre esses cátions na planta em função das suas relações em solução. À medida que a relação Ca/Mg aumentava, ocorria um decréscimo nos teores de magnésio e potássio absorvidos pelas plantas, quer sob as condições de solução nutritiva, quer sob as condições de mistura de areia e argila. Observações semelhantes foram feitas para a relação Mg/K em ambas as condições de cultivo.

Em estudos com citrus cultivados em solução nutritiva, MELLO et alii (52) notaram que o potássio apresentou ação antagônica com o cálcio, e o magnésio teve efeito semelhante quando em presença de níveis altos de potássio. Observações semelhantes quanto ao efeito do magnésio foram feitas por WILD et alii (72).

DURRANT e DRAYCOTT (28) observaram, em dez experimentos nos quais foi medido o efeito da adição de magnésio sobre a pro-

dução e o teor de cátions nas plantas de beterraba, que a adição deste elemento diminuiu a concentração de cálcio nas plantas, mas não apresentou efeito sobre a concentração de potássio.

BADRAWY e BUSSLER (7) verificaram uma sensível redução no teor de potássio em plantas de aveia devido a níveis altos de cálcio e magnésio.

MEDVEDEVA (50 e 51), realizando estudos sobre nutrição potássica de plantas em solução nutritiva, notou que as quantidades de potássio absorvido pelas mesmas foram bastante reduzidas devido a níveis altos de cálcio. Observações semelhantes foram feitas por ALBAREDA et alii (1 e 2) em que essa redução na absorção do potássio em plantas de trigo era tanto maior quanto maior era a relação Ca/K.

COLLANDER (24), em estudos com soluções nutritivas, observou que o aumento na concentração de potássio afetou, embora pouco, a absorção do cálcio.

LANGHLIN (31), MARKLAND (48) e YORK et alii (76) demonstraram que a adição excessiva de potássio apresentou um efeito negativo sobre a absorção de cálcio e magnésio.

BARROWS e DROSDOFF (8) e BARROWS et alii (9) observaram que a adição de quantidades elevadas de potássio provocou aumento no teor do elemento nas folhas e que este efeito foi maior em presença de baixos níveis de cálcio e magnésio. Quando doses altas de cálcio, magnésio e potássio foram aplicadas conjuntamente,

o teor de potássio nas folhas foi reduzido. Os autores observaram ainda que essa redução foi pequena quando apenas o cálcio foi aplicado associado com alto nível de potássio. Quando foram aplicados baixos níveis de cálcio associados a altos níveis de magnésio e potássio, esta redução foi bem mais intensa. Efeito semelhante foi observado quando o magnésio foi aplicado isoladamente ou acompanhado do cálcio.

MARTIN et alii (49), em estudo com "seedlings" de citrus, observaram que havia maior influência do potássio sobre a absorção de cálcio do que sobre a absorção de magnésio.

~~OMAR e ROBBIA~~ (56), empregando diferentes concentrações de potássio (0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 e.mg/l) e de magnésio (0,5; 1,0 2,0 e 4,0 e.mg/l) em cultura de alfafa, observaram que a absorção de magnésio foi reduzida quando se aumentavam as concentrações de potássio na solução nutritiva, enquanto que a absorção de potássio pouco foi afetada pela presença do magnésio até mesmo em altos níveis.

Estudando a influência da calagem e do potássio na produção e composição catiônica de plantas de alfafa e milho, ~~YORK~~ et alii (77), com adições aproximadas de 3, 6,5 e 16,5 t/ha de calcário a um solo, observaram não haver nenhuma influência depressiva do cálcio sobre a absorção do potássio, mas sim um grande efeito do potássio na absorção do cálcio, reduzindo-a. À medida que se aumentavam os níveis de potássio adicionado, havia uma progressiva redução no teor de magnésio nas plantas. Observa

ram ainda que baixos níveis de calagem promoviam uma redução no teor de potássio nas plantas e que a níveis altos de calagem o teor de potássio nas plantas aumentava.

FONG (30) estudou o efeito da nutrição potássica sobre a absorção de cálcio e magnésio pelo tomateiro, observando que a absorção desses elementos não foi muito afetada, exceto quando as plantas mostravam-se extremamente deficientes em potássio.

PANDEI (58) e BADRAWY e BUSSLER (7) observaram que altos níveis de potássio reduziram a absorção de cálcio e magnésio em plantas de feijão, girassol e aveia. Observações semelhantes foram feitas por JOHANSEN et alii (37 e 38) em estudo com cevada.

VIETS (70), em estudos com raízes destacadas de cevada, verificou que o cálcio pode provocar uma aceleração na absorção salina, sendo esse efeito independente da concentração do elemento na planta.

OVERSTREET et alii (57) mostraram que o efeito estimulante do cálcio sobre a absorção de potássio se observa quando o mesmo está em baixas concentrações, mas, com o aumento gradativo na concentração do cálcio, esse efeito diminui até o momento em que ocorre um efeito antagônico entre esses cátions com níveis mais altos de cálcio, e conseqüente redução na absorção de potássio.

Confirmando esses resultados, RESNIK em 1965, citado por MALAVOLTA (44), mostrou que o efeito do cálcio, aumentando ou diminuindo a absorção de potássio, está na dependência da relação

Ca/K na solução e sempre que esta relação é alta ocorre antagonismo entre os cátions cálcio e potássio e a absorção deste último diminui.

O grau de dependência da absorção de potássio pelas plantas, sobre as concentrações de cálcio e magnésio, parece ainda não estar bem nítido, pois a adição de fertilizantes potássicos pode reduzir a absorção de magnésio pelas plantas (BIRCH et alii, 16), podendo mesmo chegar a apresentar deficiência de magnésio.

Por outro lado, SMITH et alii (62) e CAROLUS (20) demonstraram que a adição de magnésio pode provocar uma redução na absorção de potássio.

MENGEL (54) e MENGEL e AKSAY (55), em estudos com solução nutritiva, observaram que o cálcio pode não apresentar nenhum efeito, como também pode estimular a absorção de potássio pela planta. Isto foi também observado por CHANEL (23) em aboboreira cultivada em casa de vegetação, não ocorrendo o mesmo quando cultivou alface nas mesmas condições MARSCHNER e OSSENBERG (46) também demonstraram esse efeito estimulante em estudo com cevada.

O efeito antagônico entre cálcio e potássio parece variar com as diferentes espécies de plantas.

BOTTINI e MARTORELLI (18) observaram que o potássio e o cálcio foram antagônicos para a aveia, não o sendo entretanto quando a planta foi o trevo dos prados.

ANDREW e ROBINS (4) em estudos com leguminosas forrageiras, verificaram que a adição de potássio causou, de modo geral, um decréscimo no teor de cálcio e magnésio na planta, mas esse efeito não foi o mesmo para todas as leguminosas estudadas. Em alfafa e siratro o efeito foi relativamente pequeno, em centrosema e no trevo, pouco ou nenhum efeito do potássio ocorreu sobre a concentração do magnésio e, ainda, em outras espécies de leguminosas a absorção de magnésio foi deprimida.

KHAN e HANSON (36) em estudos com soja e milho, verificaram que o efeito antagônico foi maior na soja do que no milho.

ALBAREDA et alii (1 e 2) numa tentativa de encontrar qual a melhor proporção entre os cátions na obtenção de um bom desenvolvimento da planta, encontraram melhores relações Ca/K para esse bom desenvolvimento variando de 1:16 a 32:1.

Por sua vez BEAR e TOTH (11), realizando experimento em vinte solos para estudar a influência do cálcio sobre a disponibilidade de outros cátions, na nutrição de lentilha, observaram que as produções ótimas foram obtidas quando a proporção entre os cátions Ca, Mg, K e H ocuparam respectivamente 65, 10, 5 e 20% em equivalentes do complexo de troca.

Em estudos com algodão, FUZZATO e FERRAZ (31) verificaram que a relação entre teores trocáveis de cálcio e potássio no solo mostrou-se como principal fator para explicar os efeitos provocados pela adubação potássica. Para valores de Ca/Mg acima de 20, houve aumentos consideráveis na produção em decorrência da

aplicação de potássio, e estes aumentos foram tanto maiores quanto maior o valor dessa relação. Por outro lado, valores abaixo de 10, estavam associados a respostas insignificantes ou frequentemente negativas da adubação potássica.

2.2. - Relação de Atividade

Um dado elemento no solo está sempre em equilíbrio entre a fase sólida e a fase líquida (solução do solo). É de se esperar que a diminuição da concentração de um elemento, na fase líquida, provocada pela absorção por raízes de plantas ou por lixiviação do elemento no perfil, ocasione a liberação de outras quantidades da fase sólida para manter o equilíbrio entre as fases.

O conceito de potencial potássio - cálcio, introduzido por WOODRUFF (74), definido como uma relação entre as atividades do íon cálcio e do íon potássio de uma solução do solo, obtida com uma solução 0,01 M de cloreto de cálcio, é considerado como um importante parâmetro relacionado com a disponibilidade de potássio para as plantas.

Vários pesquisadores (SCHEFFER e ULRICH, 61; BECKETT, 12, 13; BECKETT e CRAIG, 15) têm sugerido a relação de atividade para o íon potássio (RA_K) da solução do solo, ou o seu logarítmo, de acordo com WOODRUFF (74) e ARNOLD (5), como uma indicação satisfatória da disponibilidade imediata do potássio do solo.

Segundo MARSHALL e BARBER (47), as atividades dos íons

cálcio e do potássio estão correlacionadas com as quantidades absorvidas pelo vegetal. ARNOLD (6) encontrou correlação positiva entre a diferença de energia livre do potássio e de cálcio mais magnésio com a quantidade absorvida pelo vegetal. LAROCHE e FASSBENDER, citado por FASSBENDER (29), MacLEAN (43) e TINKER (65 e 66), mostraram haver correlação positiva entre o potencial desses elementos com o crescimento do vegetal e com a quantidade absorvida de potássio por vegetais.

HANSEN (33), em estudos sobre a relação entre a composição química de soluções isoladas do solo e a absorção de cátions pelas plantas, observou que a relação $K/Ca + Mg$ e Ca/Mg na planta estava estreitamente correlacionada com a relação de atividade correspondente.

O trabalho de MacKAY e DELONG (42), sobre o equilíbrio de trocas em suspensão de solo como um possível indicador da disponibilidade do potássio, mostra correlação positiva do potássio trocável com o teor de potássio nas folhas; com o potássio total segundo HOOD et alii (34), e com o crescimento vegetal segundo trabalhos de HALSTEAD e HEENEY (32) e MacLEAN (43). Apesar destes resultados, STRASMANN et alii (64) não encontraram correlação positiva entre o potássio solúvel e o crescimento vegetal.

HOVLAND e CALDWELL (35), em estudos sobre a interrelação entre os cátions Ca, Mg e K, observaram não haver correlação entre o teor de magnésio na planta com o potencial de potássio.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental constou de um ensaio realizado em casa de vegetação, em vasos de barro vitrificado internamente, contendo 9,0 kg de terra, passados em peneira de 2 mm, sendo utilizado como planta teste o centeio (Secale cereale L.), variedade Gayerowo.

3.1. - Localização do ensaio

O ensaio foi instalado e conduzido em casa de vegetação na Seção de Fertilidade do Solo, do Instituto Agronômico de São Paulo, em Campinas.

3.2. - Solos utilizados

Foram escolhidos dois solos para esse estudo, classificados, segundo a COMISSÃO DE SOLOS DO CNEPA (25), como pertencentes às unidades de mapeamento Latossolo Vermelho Escuro-Orto (LE) e Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa (LVa), ambos Oxissolos (SOIL SURVEY STAFF, 63), de baixa fertilidade natural e com acidez média. O primeiro deles coletado na Estação Experimental de Capão Bonito, do Instituto Agronômico de São Paulo, já há algum tempo sem cultivo, representa 4,5% da área do Estado de São Paulo, e o segundo, coletado na estrada Mogi-Guassu-Aguaí, a 1 km dentro do limite de Aguaí, representa 5% da área do Estado de

Paulo.

3.2.1. - Amostragem e análises químicas dos solos

Nos locais de onde se coletaram os solos para a experimentação em vasos, foram também coletadas amostras compostas de solos, conforme descrito em CATANI et alii (21), para a determinação de: a) valor pH determinado em um potenciômetro METROHN, com eletrodo de vidro, empregando-se a relação 1:2,5 (pH em água); b) matéria orgânica, pelo método de Walkley & Black modificado, descrito em MALAVOLTA e COURY (45); c) hidrogênio, alumínio, potássio, cálcio e magnésio trocáveis e o fósforo solúvel, em H_2SO_4 0,05 N conforme os métodos descritos em CATANI e JACINTHO (22); c) capacidade de troca catiônica, calculada pela soma de bases trocáveis mais o teor de hidrogênio e alumínio trocáveis (Quadro 1).

Determinaram-se ainda os teores de cálcio, magnésio e potássio extraídos com solução 0,05 N de HNO_3 , (Quadro 2). Esses resultados serviram de base para os cálculos das quantidades de carbonato de cálcio, óxido de magnésio e cloreto de potássio, todas drogas pró-análise, adicionadas aos solos, para elevar os teores de cálcio, magnésio e potássio aos níveis desejados no experimento (Quadro 3).

QUADRO 1 - Algumas características químicas e mecânicas dos solos estudados (profundidade 0-20 cm)

SOLOS	pH em H ₂ O	M.O. %	e. mg/100 g TFSE (a)					Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	CTC (c)
			H ⁺	Al ³⁺	PO ₄ ³⁻ (b)						
Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa (IVa)	5,24	1,89	2,30	0,64	0,01	0,06	0,10	0,30	0,12	3,40	
Latossolo Vermelho Escuro - Orto (IE)	5,06	3,96	7,67	1,50	0,01	0,12	0,08	0,10	0,12	9,47	

SOLOS	Análise Mecânica % (d)		
	Argila	Limo	Areia Total
Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa (IVa)	13	1	86
Latossolo Vermelho Escuro - Orto (IE)	39	6	55

a) Terra fina seca em estufa

b) Extraído com solução 0,05 N de H₂SO₄

c) Capacidade de troca de Cátions

d) Dados fornecidos pela Seção de Pedologia do Instituto Agronômico em Campinas

QUADRO 2 - Teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis extraídos com solução 0,05 N de HNO_3 , nos dois solos em estudo.

SOLOS	e.mg/100 g de Terra Fina Seca à Estufa		
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+
Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa (LVa)	0,30	0,10	0,07
Latossolo Vermelho Escuro - Orto (LE)	0,10	0,08	0,12

3.3. - Delineamento experimental

Utilizou-se um esquema de blocos inteiramente casualizados, envolvendo dezesseis tratamentos com três repetições. O Quadro 4 mostra os detalhes do delineamento, sendo que as variáveis fundamentais foram as doses de cálcio, magnésio e potássio.

QUADRO 3 - Quantidade em gramas de carbonato de cálcio e óxido de magnésio, adicionadas nos solos, Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa (IVa) e Latossolo Vermelho Escuro Orto (LE).

Relação Ca/Mg	IVa				LE				
	Ca	Mg	CaCO ₃	MgO	Ca	Mg	CaCO ₃	MgO	
	e.mg/100 g solo g/vaso				e.mg/100 g solo g/vaso				
20,00	1	2,00	0,10	7,65	-	4,00	0,20	17,55	0,22
10,00	1	1,90	0,19	7,20	0,16	3,81	0,38	16,69	0,54
5,00	1	1,75	0,35	6,53	0,45	3,50	0,70	15,30	1,12
2,50	1	1,50	0,60	5,40	0,90	3,00	1,20	13,05	2,02
1,25	1	1,17	0,94	3,93	1,51	2,33	1,87	10,03	3,22
0,65	1	0,83	1,27	2,38	2,10	1,65	2,54	7,02	4,43
0,35	1	0,55	1,55	1,05	2,61	1,09	3,10	4,45	5,43
0,17	1	0,30	1,80	-	3,06	0,61	3,59	2,30	6,33

QUADRO 4 - Níveis de K, Ca, Mg, N, P e valores da relação Ca/Mg aplicados nos solos em estudo.

K	Níveis estudados				Relação	
	Ca	Mg	N	P	Ca	Mg
K ₁	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₁	20	1
	Ca ₂	Mg ₁	N ₁	P ₁	10	1
	Ca ₃	Mg ₁	N ₁	P ₁	5	1
	Ca ₄	Mg ₁	N ₁	P ₁	2,5	1
	Ca ₅	Mg ₁	N ₁	P ₁	1,25	1
	Ca ₆	Mg ₁	N ₁	P ₁	0,65	1
	Ca ₇	Mg ₁	N ₁	P ₁	0,35	1
	Ca ₈	Mg ₁	N ₁	P ₁	0,17	1
K ₂	Ca ₁	Mg ₁	N ₁	P ₁	20	1
	Ca ₂	Mg ₁	N ₁	P ₁	10	1
	Ca ₃	Mg ₁	N ₁	P ₁	5	1
	Ca ₄	Mg ₁	N ₁	P ₁	2,5	1
	Ca ₅	Mg ₁	N ₁	P ₁	1,25	1
	Ca ₆	Mg ₁	N ₁	P ₁	0,65	1
	Ca ₇	Mg ₁	N ₁	P ₁	0,35	1
	Ca ₈	Mg ₁	N ₁	P ₁	0,17	1

3.4. - Instalação e condução dos ensaios

Foram colocados 9 kg de terra em cada vaso, adicionando-se, em seguida o carbonato de cálcio, óxido de magnésio e o cloreto de potássio, homogeneizando-se muito bem o material, para neutralizar todo o alumínio trocável e principalmente para atingir as relações Ca/Mg contidas no Quadro 4. Além do teor original de potássio contido nos solos, adicionaram-se dois níveis do elemento para atingir os seguintes teores de potássio trocável: 0,12 e 0,24 e.mg K^+ /100 g de terra. Após a aplicação dos elementos, seguiu-se um período de incubação de 40 dias, durante o qual o solo foi mantido úmido, sendo a irrigação feita com água desmineralizada, em quantidade suficiente para manter o teor de umidade em torno de 75% da capacidade de campo, tendo-se verificado ser de 9 e 15% do seu peso em água, respectivamente para os solos LVa e LE, sem que houvesse drenagem.

Após o período de incubação, foram coletadas amostras de terra dos vasos para análises químicas. Em seguida adicionaram-se fosfato diamônio e sulfato de amônio em níveis equivalentes a 60 kg de P_2O_5 /ha e 30 kg de N/ha, respectivamente, em todos os tratamentos.

Logo em seguida à adubação, foi semeado o centeio, variedade Gayerowo, utilizando-se 40 sementes por vaso. Seis dias após a germinação, procedeu-se ao desbaste deixando-se, 20 plantas por vaso.

Sessenta e cinco dias após a germinação, as plantas foram cortadas bem rente à superfície da terra do vaso. O material obtido foi lavado, seco em estufa a 50°C até peso constante e em seguida pesado, moído em moinho tipo Wiley e preparado para a análise química.

Durante todo o desenvolvimento do ensaio utilizou-se água desmineralizada para a irrigação das plantas.

3.5. - Determinações em laboratório

3.5.1. - Análises químicas dos solos

Em amostras de solo coletadas imediatamente antes do plantio e da adubação nitrogenada e fosfatada foram determinados os teores trocáveis de potássio, cálcio e magnésio, empregando-se como solução extratora, uma solução de HNO_3 0,05 N. Na determinação do cálcio e do magnésio foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer, modelo 303, e para o potássio o fotômetro de chama Coleman, modelo 21.

3.5.2. - Determinação da relação de atividade para o íon potássio nos solos dos ensaios.

As determinações analíticas, empregadas na avaliação da relação de atividade, foram feitas segundo a técnica de van RAIJ^(*). Cinco gramas de solo seco em estufa a 55°C , coletadas imediatamente após o período de incubação, foram equilibradas com 50 ml de solução $10 \times 10^{-3}\text{M}$ de cloreto de cálcio, através de agitação durante quinze minutos em agitador horizontal, após o que procedeu-se a filtração através de papel de filtro Whatman nº 40, analisando-se neste extrato, o cálcio, o magnésio e o potássio.

(*) BERNARD van RAIJ, Comunicação pessoal.

Com os dados obtidos calculou-se a intensidade ou a relação de atividade para o íon potássio em função dos íons cálcio e magnésio, segundo DAVIDESCU et alii (27). Os coeficientes de atividade foram calculados de acordo com a segunda aproximação da equação de Debye e Hückel, juntamente com as atividades dos cátions, segundo DAVIDESCU e BORLAN (26), através das equações que se seguem:

a) O coeficiente de atividade f , para o íon cálcio (I), para o íon magnésio (II) e para o íon potássio (III):

$$\log f_{Ca} = - \frac{4,0 \cdot 0,508 \cdot (u)^{1/2}}{1 + 1,312 \cdot (u)^{1/2}} \quad (I)$$

$$\log f_{Mg} = - \frac{4,0 \cdot 0,508 \cdot (u)^{1/2}}{1 + 2,628 \cdot (u)^{1/2}} \quad (II)$$

$$\log f_K = - \frac{0,508 \cdot (u)^{1/2}}{1 + 1,5 \cdot (u)^{1/2}} \quad (III)$$

b) A força iônica u é calculada pela equação:

$$u = \frac{1}{2} \sum m_i \cdot Z_i^2$$

onde m_i é a concentração molar do íon, e Z_i é a valência desse íon.

c) A atividade de um íon é dada pela fórmula:

$$a = f \cdot m$$

onde f é o coeficiente de atividade e m é a concentração molar.

d) A relação de atividade para o potássio (RA_K) é dada pela fórmula:

$$RA_K = \frac{a_K}{\sqrt{a_{Ca + Mg}}}$$

onde a_K , $a_{Ca + Mg}$ são respectivamente as atividades do íon potássio e do cálcio mais magnésio.

3.5.3. - Análises químicas do material vegetal.

As determinações analíticas de cálcio, magnésio e potássio nas plantas de centeio foram feitas segundo a técnica de LEGGETT e WESTERMANN (40).

Nessas análises adotou-se o seguinte procedimento: agitaram-se 0,100 g de material vegetal, seco e finamente moído com 25 ml de ácido tricloracético a 2%. Em seguida levou-se ao banho-maria durante 1 hora com agitação a cada 15 minutos; filtrou-se através de papel de filtro Whatman nº 50. Diluiu-se vinte vezes os extratos, com solução de lantânio a 0,1% para análise de cálcio, magnésio e potássio, com leituras no espectrofotômetro de absorção atômica, Perkin Elmer, modelo 303.

3.6. - Análise estatística

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do computador IBM 1130; o teste de significância foi o teste F e a comparação entre as médias foi feita através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Foram estabelecidas equações de regressão entre os valores da relação Ca/Mg versus produção de matéria seca; relação Ca/Mg versus concentração dos nutrientes K, Ca e Mg na planta; relação Ca/Mg versus teor de K disponível extraído com solução 0,05 normal de ácido nítrico e relação Ca/Mg versus relação de atividade para o íon potássio.

Para os dados onde foi observado ocorrer uma tendência assintótica à medida que se aumentava a relação Ca/Mg, foi feita uma regressão assintótica para o ajustamento aos dados, cuja equação de regressão utilizada foi:

$$y = a + br^x$$

onde:

y = dados observados (médias)

x = relação Ca/Mg

a, b, r, = parâmetros, sendo $0 < r < 1$

O método de ajustamento empregado foi o de STEVENS, conforme descrito em MISCHAN (55).

Determinaram-se ainda, os coeficientes de correlação entre os valores da relação de atividade (RA_K) versus produção de

matéria seca: RA_K versus concentração de potássio na planta e RA_K versus teor de K disponível extraído em solução 0,05 N de ácido nítrico.

4 - RESULTADOS E DISCUSSAO

4.1. - Efeitos dos tratamentos na produção de matéria seca, nos teores de Ca, Mg e K na parte aérea de plantas e no teor de K disponível extraído com solução 0,05 normal de ácido nítrico.

A produção de matéria seca e a concentração de Ca, Mg e K no centeio, são apresentadas nos Quadros 5 e 6 respectivamente, para os solos Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa e Latossolo Vermelho Escuro - Orto.

4.1.1. - Produção de matéria seca

Considerando-se o ensaio como um todo, em média, a produção de matéria seca de centeio, foi beneficiada pela adição de potássio (Quadros 5 e 6).

Como o teste de significância realizado para os dados obtidos, com o centeio cultivado no solo LVa, mostrou haver interação significativa entre os tratamentos de potássio e relação Ca/Mg, fez-se o desdobramento desses componentes da análise da variância, cujo valor de F (Quadro 8) indicou uma diferença significativa entre os efeitos dos níveis de potássio dentro de uma mesma relação Ca/Mg. Verificou-se que o efeito benéfico do cá- tion apareceu apenas dentro das relações com valores de 20; 10; 2,5 e 0,17, e não foi constatado nas demais relações. Por outro

lado, observou-se também haver diferença significativa entre os efeitos dos valores da relação Ca/Mg dentro de um mesmo nível de potássio, e esse efeito ocorreu dentro de ambos os níveis de adubação potássica.

Esses dados evidenciam que há um efeito benéfico do cálcio na produção em função do nível de potássio no solo. Assim é, que os tratamentos com o nível um de potássio foram menos produtivos do que os que receberam o nível dois, fato semelhante foi verificado quando o valor da relação Ca/Mg era baixo.

A equação de regressão (Quadro 10) entre os valores da relação Ca/Mg e os dados de produção de matéria seca, conduziu a valores de "t" significativos ao nível de 5% de probabilidade. Pelo valor do coeficiente de determinação (R^2) verificou-se que 98,4% da variação total dos dados de produção de matéria seca é explicada pela regressão utilizada. À medida que o valor da relação Ca/Mg aumentou, a produção aumentou de acordo com a equação ajustada.

No Quadro 6, onde estão apresentados os resultados obtidos quando o centeio foi cultivado no solo LE, verificou-se que o valor da relação Ca/Mg e a adubação potássica tiveram individualmente um efeito benéfico, altamente significativo sobre a produção de matéria seca. Assim comparando-se os resultados obtidos com o aumento no nível de potássio, através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, observou-se que o efeito desse cátion ao contrário do que ocorreu no primeiro solo (LVa)

foi bem característico, pois proporcionou um aumento significativo dentro de todos os valores da relação Ca/Mg.

Verificou-se também que o aumento no valor da relação Ca/Mg proporcionou um efeito benéfico, altamente significativo, na produção de matéria seca. Este efeito foi constatado dentro de ambos os níveis de potássio.

Entretanto se por um lado o valor de F na análise de variância (Quadro 7) indicou um efeito individual do potássio e da relação Ca/Mg, por outro lado a equação de regressão (Quadro 10) mostrou haver uma relação bastante estreita entre os valores daquela relação e as produções de matéria seca.

Os dados obtidos em ambos os solos, evidenciam claramente que a produção de matéria seca foi altamente beneficiada com o aumento no valor da relação Ca/Mg, e que o maior valor dessa relação proporcionou aumentos de produção, entretanto o efeito do potássio somente ficou bem caracterizado no solo LE. É interessante observar que não ocorreu nenhum relacionamento negativo entre a relação Ca/Mg e o nível de potássio sobre a produção de matéria seca, mas pelo contrário, observou-se em média, que com o aumento no potássio e no valor daquela relação a produção de matéria seca foi aumentada.

4.1.2. - Concentração de potássio na parte aérea

O teor de potássio na planta de centeio relacionou-se estreitamente com o teor de cátion no solo, conforme os dados de

Quadro 5, onde são apresentados os dados obtidos com o centeio cultivado no solo LVa, observação esta que comprova em parte o obtido por BARROWS e DROSDOFF (8). O valor de F no desmembramento dos componentes da interação significativa entre o potássio e a relação Ca/Mg, (Quadro 8), indicou haver um efeito altamente benéfico na absorção de potássio devido aos níveis desse cátion dentro de um mesmo valor da relação Ca/Mg. Por outro lado, verificou-se um efeito altamente depressivo da relação Ca/Mg no teor de potássio na planta, pois o teor de potássio na mesma diminuiu com o aumento do valor daquela relação. Esses dados evidenciam que o efeito depressivo da relação Ca/Mg foi diferente em função do nível de potássio no solo. Assim é que nos tratamentos onde o centeio recebeu o nível um de potássio esse efeito foi menos intenso do que aqueles que receberam o nível dois.

Verificou-se (Quadro 5), que para valores da relação Ca/Mg maior do que 2,5 em presença do menor nível de potássio, o efeito depressivo foi mais intenso do que para valores daquela relação menores do que 1,25. Em presença do nível mais alto de potássio, observação semelhante foi feita para valores da relação Ca/Mg maiores e menores do que 1,25, relação esta, em que o centeio apresentou maior teor de potássio. Convém ressaltar ainda, que estatisticamente os tratamentos com valores da relação Ca/Mg menor do que 1,25 em presença do nível mais alto de potássio foram iguais. Esses dados confirmam em parte os obtidos por DURRANT e DRAYCOTT (28).

Os dados do Quadro 5 evidenciam a influência da relação sobre o aproveitamento de potássio pelas plantas e o reflexo direto do cálcio no teor de potássio na planta. Observações estas que concordam com as feitas por TEWARI et alii (67), por ANDERSON e MARTIN (3), por BOWER e PIERRE (19), e, discordam das observações feitas por YORK et alii (76), BARROWS e DROSDOFF (8).

Pelo Quadro 9, observa-se que o teor de potássio é uma função linear da relação Ca/Mg do solo.

Com o centeio cultivado no solo LE, os valores de F obtidos na análise da variância (Quadro 7) indicam que o valor da relação Ca/Mg e a adubação potássica tiveram individualmente um efeito significativo sobre o teor de potássio na planta. A adição de potássio ao solo apresentou um efeito altamente benéfico na absorção desse cátion, por outro lado a relação Ca/Mg proporcionou um efeito altamente depressivo na absorção de potássio. Verificou-se ainda, que esse efeito foi bem mais intenso para maiores valores da relação Ca/Mg em presença do nível mais alto de potássio. E que o aumento no teor de magnésio na relação não apresentou efeito depressivo na absorção de potássio.

Maior absorção do cátion foi observado (Quadro 6), quando os valores da relação Ca/Mg foram de 2,5 e 1,25 em presença do nível mais alto de potássio. Acima e abaixo dessas relações a absorção de potássio foi deprimida.

Pela equação de regressão linear (Quadro 9) entre os valores da relação Ca/Mg e teor de potássio na planta, verificou-se

que o valor de t significativo ao nível de 5% de probabilidade evidenciou haver uma relação muito estreita entre as variáveis, isto é, o aumento no valor daquela relação deprimiu a absorção de potássio.

Observando-se os resultados obtidos para produção de matéria seca e os teores de potássio na planta (Quadros 5 e 6), verificou-se que o valor da relação Ca/Mg apresenta individualmente um efeito benéfico, altamente significativo sobre a produção de matéria seca, mas por outro lado, a aplicação de valores altos daquela relação produziram efeitos altamente depressivos na absorção do potássio. O que permitiu observar ainda, que o efeito do cálcio, aumentando ou diminuindo a absorção de potássio, estava na dependência da relação Ca/Mg na solução do solo, e sempre que esta relação era alta, ocorria antagonismo entre os cátions cálcio e potássio, com conseqüente diminuição na absorção deste último.

Verificou-se ainda, que a adubação potássica apresentou um efeito altamente depressivo na absorção de cálcio e do magnésio pela planta, e que esse efeito, em média, foi mais intenso sobre a absorção do cálcio do que sobre a absorção do magnésio, o que está de acordo com MARTIN et alii (49).

4.1.3. - Concentração do cálcio na parte aérea

A semelhança do potássio, o teor de cálcio na planta foi estreitamente relacionado com o teor de cálcio no solo, como se

pode observar pelo Quadro 5, onde são apresentados os dados obtidos com o cultivo do centeio no solo LVa.

Devido a interação significativa entre K e Ca/Mg, desmembrou-se os componentes dessa interação, cujos valores de F são apresentados no Quadro 8. Conforme pode se observar, quando a relação Ca/Mg aumentou, o teor de cálcio na planta também acompanhou esse aumento, incrementando-se ao nível significativo. A análise de variância da regressão, confirmou esse estreito relacionamento e mostrou ter o mesmo um comportamento assintótico (Quadro 10). Comportamento semelhante ocorreu dentro de ambos os níveis de potássio empregados. Verificou-se que a adubação potássica apresentou um efeito depressivo, altamente significativo sobre a absorção de cálcio pelo centeio. Esse efeito negativo do potássio também foi observado por LANGHLIN (39), por MARKLAND (48) e por YORK et alii (77) em seus estudos sobre a inter-relação entre os cátions cálcio, magnésio e potássio. Observou-se que esse efeito negativo do potássio foi maior em presença dos valores mais altos da relação Ca/Mg e decresceu à medida que esses valores diminuíram, chegando mesmo, a não se constatar nenhum efeito daquele elemento, nos valores mais baixos da relação.

Quanto ao efeito dos tratamentos no teor de cálcio no centeio cultivado no solo LE (Quadro 6), as mesmas observações feitas para o primeiro solo podem ser estendidas para essa unidade de mapeamento, pois também aqui observou-se o efeito depressivo, altamente significativo, do potássio na absorção de cálcio e es-

se efeito decresceu à medida que o valor da relação Ca/Mg decresceu, não sendo constatado aquele efeito em presença dos valores mais baixos daquela relação.

Esses dados evidenciaram que o efeito depressivo do potássio foi diferente em função do valor da relação Ca/Mg, do solo. Assim é, que menores absorções de cálcio foram observadas dentro dos menores valores daquela relação em presença do nível mais alto de potássio.

4.1.4. - Concentração de magnésio na parte aérea

O valor de F na análise da variância (Quadro 7) mostrou que existe, dentro de certos limites, uma relação inversa entre o teor de magnésio na planta e o valor da relação Ca/Mg e do potássio no solo LVa. O efeito do potássio foi observado somente dentro da relação 0,17 e nas demais, apesar de ter ocorrido uma ligeira redução no teor de magnésio, a mesma não foi estatisticamente significativa.

A equação de regressão (Quadro 10) entre o valor da relação Ca/Mg e o teor de magnésio na planta conduziu a valores do teste "t" significativos ao nível de 5% de probabilidade. O coeficiente de determinação ($R^2 = 97,2$) evidenciou o bom ajustamento da equação de regressão utilizada, mostrando que à medida que o valor da relação Ca/Mg aumentou, menor foi o teor de magnésio encontrado na planta, conforme mostra a equação ajustada.

O teor de magnésio na planta relacionou-se estreitamente com o seu teor no solo LE, como pode ser observado pelo Quadro 6. Pelo valor de F da análise da variância (Quadro 7) notou-se a mesma relação inversa entre o teor de magnésio na planta e os valores da relação Ca/Mg e do potássio no solo, observado anteriormente no solo LVa, diferindo no que tange ao grau desse relacionamento, que ficou melhor caracterizado no solo LE. O efeito depressivo do potássio na absorção do magnésio foi observado também por OMAR e KOBIA (56), por LANGHLIN (39) e por MARKLAND (48).

A equação de regressão (Quadro 10) entre o valor da relação Ca/Mg e o teor de Mg na planta, também evidenciou uma relação estreita entre as variáveis, pois à medida que o valor daquela relação diminuiu, maior foi a absorção de magnésio pelo centeio, conforme mostra a equação de regressão ajustada.

4.1.5. - Teor de potássio disponível extraído com solução 0,05 normal de ácido nítrico.

Para facilidade de exposição, expressou-se aqui, o potássio disponível extraído com solução 0,05 normal de ácido nítrico por Kex, e os resultados obtidos em ambos os solos são apresentados no Quadro 11.

O valor de F na análise da variância (Quadro 7) mostrou que, em ambos os solos, a relação Ca/Mg não apresentou nenhuma influência no teor de Kex, mas este teor foi altamente influen-

ciado pela adição de potássio ao solo.

4.5. - Efeito dos tratamentos na relação de atividade para o íon potássio.

Expressou-se aqui, a relação de atividade para o íon potássio como RA_K , e os valores obtidos em ambos os solos, são apresentados no Quadro 12.

A determinação da RA_K foi baseada no potássio solúvel extraído com uma solução 0,01 M de cloreto de cálcio e é expressa neste trabalho pela relação $a_K / \sqrt{a(Ca + Mg)}$

Observando-se os dados do Quadro 12, verifica-se que os valores de RA_K no solo LVa variaram de $2,796 \times 10^{-2}$ a $3,526 \times 10^{-2}$ em presença do nível 1 de potássio e de $5,874 \times 10^{-2}$ a $7,505 \times 10^{-2}$ dentro do nível 2. E no solo LE os valores de RA_K variaram de $1,896 \times 10^{-2}$ a $1,996 \times 10^{-2}$ e de $4,114 \times 10^{-2}$ a $4,547 \times 10^{-2}$, respectivamente em presença do nível 1 e 2 de potássio. O valor de F no desdobramento dos componentes da interação K x Ca/Mg (Quadro 8), indicou que em ambos os solos, houve efeito altamente significativo do potássio dentro de um mesmo valor da relação Ca/Mg e que este efeito foi observado dentro de todos os valores daquela relação. Esses resultados estão de acordo com os citados por BECKETT (14), DAVIDESCU et alii (28) e MARSHALL e BARBER (47).

Por outro lado, verificou-se que a variação no valor da relação Ca/Mg apresentou um efeito significativo dentro de um mesmo nível de potássio e esse efeito somente foi observado dentro do nível mais alto de potássio empregado. Esses resultados discordam em parte do citado por BECKETT (14). Observou-se ainda, neste experimento que em presença do nível mais baixo de potássio, os dados foram concordes com BECKETT (14), DAVIDESCU et alii (27), MEDVEDEVA (50), MARSHALL e BARBER (47) e TINKER (65)

É interessante notar que a adição de potássio em ambos os solos (Quadro 12) provocou um aumento aproximado de 100% nos valores de AR_K , sendo que o solo LVa apresentou os maiores valores de AR_K . Os dados obtidos evidenciaram que o efeito da relação Ca/Mg foi diferente em função do nível de potássio, pois os tratamentos que receberam o nível mais baixo de potássio apresentaram os menores valores de RA_K .

No Quadro 13, são apresentados os valores do coeficiente de correlação r e os valores do teste t ao nível de 5% de probabilidade, obtidos entre os valores da RA_K versus produção de matéria seca; RA_K versus porcentagens de potássio na planta e RA_K versus teor de potássio disponível extraído com solução 0,05 normal de ácido nítrico (K_{ex}).

Pelo exame dos dados do Quadro 13, podemos observar que os valores da RA_K foram altamente correlacionados com o teor de K_{ex} em ambos os solos.

Os valores de RA_K apresentaram um coeficiente de correlação significativo com o teor de potássio nas plantas de centeio quando o mesmo foi cultivado no LVa (Quadro 13), o que está de acordo com os dados de LAROCHE e FASSBENDER, citado por FASSBENDER (29), MARSHALL e BARBER (47), MacLEAN (43) e TINKER (65 e 66). Entretanto correlação significativa entre os valores de RA_K e produção de matéria seca somente foi observado no solo LE.

QUADRO 5. Produção de matéria seca (g) e concentração (%) de Ca, Mg e K nas plantas de centeio colhidas 65 dias após a germinação no Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa.

Níveis de K	Níveis de		Peso de Matéria Seca (%)	Concentração de nutrientes na parte aérea		
	Ca	Mg		% Ca	% Mg	% K
K ₁	Ca ₁	Mg ₁	38,0	1,85	0,25	0,45
	Ca ₂	Mg ₁	37,5	1,62	0,36	0,69
	Ca ₃	Mg ₁	37,0	1,39	0,42	0,98
	Ca ₄	Mg ₁	34,0	1,16	0,61	1,68
	Ca ₅	Mg ₁	31,0	0,93	0,70	1,65
	Ca ₆	Mg ₁	30,5	0,62	0,93	1,03
	Ca ₇	Mg ₁	27,0	0,31	1,05	1,12
	Ca ₈	Mg ₁	26,0	0,29	1,16	1,33
K ₂	Ca ₁	Mg ₁	42,0	1,51	0,23	0,64
	Ca ₂	Mg ₁	41,7	1,32	0,34	1,02
	Ca ₃	Mg ₁	37,5	1,13	0,42	1,58
	Ca ₄	Mg ₁	35,5	0,94	0,53	2,56
	Ca ₅	Mg ₁	31,5	0,75	0,61	2,78
	Ca ₆	Mg ₁	31,0	0,50	0,82	1,83
	Ca ₇	Mg ₁	28,0	0,25	1,01	1,86
	Ca ₈	Mg ₁	27,5	0,22	0,97	1,89
d.m.s. 5%		2,30	0,16	0,20	0,16	
C.V. %		2,58	6,74	11,79	4,21	

d.m.s. - diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. - coeficiente de variação.

QUADRO 6. Produção de matéria seca (g) e concentração de Ca, Mg e de K nas plantas de centeio colhidas 65 dias após a germinação no Latossolo Vermelho Escuro - Orto.

Níveis de K	Níveis de		Peso de Matéria Seca (g)	Concentração de nutrientes na parte aérea		
	Ca	Mg		% Ca	% Mg	% K
K ₁	Ca ₁	Mg ₁	39,0	1,35	0,35	1,06
	Ca ₂	Mg ₁	39,5	1,15	0,32	1,43
	Ca ₃	Mg ₁	39,0	0,95	0,37	2,12
	Ca ₄	Mg ₁	35,0	0,75	0,44	2,63
	Ca ₅	Mg ₁	31,5	0,64	0,55	2,86
	Ca ₆	Mg ₁	31,0	0,53	0,68	2,03
	Ca ₇	Mg ₁	26,5	0,32	0,85	2,09
	Ca ₈	Mg ₁	25,0	0,25	0,98	2,12
K ₂	Ca ₁	Mg ₁	43,0	1,05	0,23	1,02
	Ca ₂	Mg ₁	43,5	0,87	0,25	1,65
	Ca ₃	Mg ₁	40,5	0,66	0,26	2,35
	Ca ₄	Mg ₁	38,0	0,62	0,31	2,93
	Ca ₅	Mg ₁	35,0	0,48	0,43	3,22
	Ca ₆	Mg ₁	33,5	0,39	0,58	2,23
	Ca ₇	Mg ₁	29,5	0,29	0,73	2,28
	Ca ₈	Mg ₁	27,5	0,23	0,81	2,32
d.m.s. a 5%			2,26	0,12	0,14	0,34
C.V. %			2,44	7,31	10,77	6,05

d.m.s. - diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade.

V.V. - coeficiente de variação.

QUADRO 7. Valores de F, na análise da variância dos resultados obtidos para: matéria seca (M.S.); concentração (%) de K, Ca e Mg na planta; K disponível extraído com HNO₃ 0,05 N (Kex) e relação de atividade para o íon potássio (RAK), em ambos os solos.

Fonte de Variação	G.L.	F (M.S.)	F (% K)	F (% Ca)	F (% Mg)	F (Kex)	F (RAK)
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - fase arenosa							
Níveis de K	1	46,88**	1.383,18**	115,75**	9,30**	1.581,74**	2.691,04**
Relação Ca/Mg	7	216,13**	523,20**	440,56**	100,48**	1,46	10,81**
Interação K x Ca/Mg	7	4,69**	36,89**	4,21*	1,03	1,26	5,07**
Blocos	2	0,08	6,49*	0,13	1,11	0,02	0,38
Resíduo	30						
Total	47						
LATOSSOLO VERMELHO ESCURO - Orto							
Níveis de K	1	148,51**	29,81**	146,64**	51,74**	3.578,52**	7.321,88**
Relação Ca/Mg	7	281,66*	142,69**	290,83**	110,51**	3,50	6,70
Interação K x Ca/Mg	7	1,47	1,19	8,23**	0,21	3,12	3,29*
Blocos	2	0,58	0,47	2,04	1,09	0,14	1,55
Resíduo	30						
Total	47						

* - significativo ao nível de 1% de probabilidade

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 8. Valores de F, obtidos com o desdobramento dos componentes de 1º e 2º grau da análise da variância para os resultados de: matéria seca (MS); concentração (%) de K e de Ca e Mg na planta e K relação de atividade para o íon potássio (RA_K).

Fonte de Variação	G.L.	F (M.S.)	F (Mg)	F (%Ca)	F (RA _K)
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - fase arenosa					
Níveis de K d. Rel. 1	1	31,97**	14,60**	44,55**	447,30**
Níveis de K d. Rel. 2	1	35,25**	44,05**	34,68**	400,14**
Níveis de K d. Rel. 3	1	0,49*	145,63**	26,05**	430,57**
Níveis de K d. Rel. 4	1	4,49*	31,327**	18,65**	252,27**
Níveis de K d. Rel. 5	1	0,49	516,56**	12,48**	353,65**
Níveis de K d. Rel. 6	1	0,49	258,90**	5,55*	306,01**
Níveis de K d. Rel. 7	1	1,99	221,52**	1,38	313,81**
Níveis de K d. Rel. 8	1	4,49*	126,86**	1,88	222,74**
Níveis da Rel. d. K ₁	7	89,28**	150,25**	265,45**	2,10**
Níveis da Rel. d. K ₂	7	131,53**	409,83**	179,32**	13,77**
LATOSSOLO VERMELHO ESCURO - Orto					
Níveis de K d. Rel. 1	1	-	-	58,22**	1.013,55**
Níveis de K d. Rel. 2	1	-	-	50,71**	102,88**
Níveis de K d. Rel. 3	1	-	-	54,40**	1.029,57**
Níveis de K d. Rel. 4	1	-	-	10,93**	964,93**
Níveis de K d. Rel. 5	1	-	-	16,56**	900,13**
Níveis de K d. Rel. 6	1	-	-	12,67**	869,80**
Níveis de K d. Rel. 7	1	-	-	0,58	740,45**
Níveis de K d. Rel. 8	1	-	-	0,17	803,59**
Níveis da Rel. d. K ₁	7	-	-	194,98**	0,39
Níveis da Rel. d. K ₂	7	-	-	104,07**	9,60**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

QUADRO 9. Equação de regressão linear e teste t, entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração (%) de K na planta; relação Ca/Mg versus K disponível extraído em HNO_3 0,05 N (Kex) e relação Ca/Mg versus relação de atividade para o íon potássio (RA_K), em ambos os solos utilizados.

Componente	$y = A + B x$	t B
	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - fase arenosa	
% K na planta	$y = 1,77 - 0,065 x$	5,97*
Kex	$y = 0,18 - 0,00026 x$	0,20
RA_K	$y = 0,049 + 0,00021 x$	0,47
	LATOSSOLO VERMELHO ESCURO - Orto	
% K na planta	$y = 2,51 - 0,074 x$	8,74*
Kex	$y = 0,18 + 0,00033 x$	0,25

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade

tB - teste t para o parâmetro B

y - variável dependente

A,B - parâmetros da equação

x - variável independente.

QUADRO 10. Valores do teste "F", estimativas dos parâmetros e respectivos teste "t" e coeficientes de determinação (R²) para a regressão assintótica ajustada aos dados de produção de matéria seca, concentração (%) de Ca e Mg na planta e relação de atividade para o íon potássio (RAK), em ambos os solos.

Componentes	Teste "F" para Regressão	Estimativas dos parâmetros			Teste "t" para parâmetros			R ²
		â	ĥ	ĥ	t (â)	t (ĥ)	t (ĥ)	
		LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - fase arenosa						
Matéria seca	156,09*	39,80	0,6818	0,6818	67,7*	17,6*	15,5*	0,984
% Ca na planta	87,16*	1,56	0,6779	0,6779	19,6*	13,1*	11,4*	0,972
% Mg na planta	90,08*	0,312	0,816	0,5881	7,6*	13,0*	8,7*	0,972
		LATOSSOLO VERMELHO ESCURO - Orto						
Matéria seca	108,45*	41,02	0,5714	0,5714	59,4*	14,1*	9,0*	0,977
% Ca na planta	74,74*	1,17	0,886	0,8129	15,3*	11,3*	18,3*	0,967
% Mg na planta	574,05*	0,300	0,702	0,3460	28,7*	28,1*	11,5*	0,995
RAK	162,10*	0,0326	0,00275	0,5424	334,8*	17,0*	10,2*	0,984

QUADRO II. Teores médios de cálcio, magnésio e potássio trocáveis extraídos em solução 0,05 N de HNO_3 e valores pH determinados nos solos em estudo.

Níveis de K	Médias de		Solo I Va				Solo I E			
	Ca	Mg	pH	e.mg/100 g terra			pH	e.mg/100 g terra		
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
K ₁	Ca ₁	Mg ₁	5,83	2,20	0,10	0,13	5,90	3,87	0,20	0,13
	Ca ₂	Mg ₁	5,90	1,90	0,20	0,14	5,97	3,77	0,40	0,14
	Ca ₃	Mg ₁	5,97	1,83	0,40	0,13	5,83	3,47	0,80	0,13
	Ca ₄	Mg ₁	5,73	1,53	0,73	0,14	5,93	2,87	1,33	0,13
	Ca ₅	Mg ₁	5,93	1,50	1,17	0,13	6,03	2,13	2,13	0,13
	Ca ₆	Mg ₁	5,97	0,80	1,63	0,12	6,07	1,43	2,93	0,13
	Ca ₇	Mg ₁	6,03	0,20	1,90	0,14	6,00	0,90	3,60	0,13
	Ca ₈	Mg ₁	5,93	0,20	2,07	0,13	6,07	0,43	3,63	0,12
K ₂	Ca ₁	Mg ₁	5,67	2,13	0,10	0,23	5,73	3,97	0,20	0,25
	Ca ₂	Mg ₁	5,87	2,10	0,20	0,23	5,77	3,83	0,40	0,26
	Ca ₃	Mg ₁	5,77	1,93	0,43	0,25	5,77	3,47	0,70	0,26
	Ca ₄	Mg ₁	5,70	1,43	0,70	0,25	5,73	2,67	1,27	0,25
	Ca ₅	Mg ₁	5,80	1,03	1,00	0,25	5,83	2,13	2,10	0,24
	Ca ₆	Mg ₁	5,87	0,77	1,50	0,24	5,80	1,47	2,97	0,24
	Ca ₇	Mg ₁	5,90	0,50	1,93	0,25	5,90	0,83	3,63	0,23
	Ca ₈	Mg ₁	5,97	0,10	2,07	0,24	6,03	0,43	3,67	0,25
			d.m.s. a 5%				0,02			
			C.V. %				5,16			

d.m.s. - diferença mínima significativa ao nível de 5% de probabilidade

C.V. - coeficiente de variação

QUADRO 12. Concentração dos cátions Ca, Mg e K (mol/l x 10⁻³) e a relação de atividade (mol/l)^{1/2} x 10⁻² para o íon potássio (RA_K) em relação aos íons cálcio e magnésio nos solos (IVa e IE) após a incubação.

Níveis de K	Níveis de		Solo IVa				Solo IE			
	Ca	Mg	Ca	Mg	K	RA _K	Ca	Mg	K	RA _K
K ₁	Ca ₁	Mg ₁	1,51	0,07	1,13	3,144	3,01	0,15	1,00	1,992
	Ca ₂	Mg ₁	1,40	0,12	1,13	3,200	2,86	0,28	1,00	1,996
	Ca ₃	Mg ₁	1,30	0,24	1,13	3,178	2,62	0,54	1,00	1,983
	Ca ₄	Mg ₁	1,10	0,43	1,20	3,367	2,49	0,92	1,03	1,971
	Ca ₅	Mg ₁	0,82	0,67	1,17	3,309	1,65	1,42	0,97	1,932
	Ca ₆	Mg ₁	0,63	0,93	1,27	3,526	1,15	1,90	0,97	1,930
	Ca ₇	Mg ₁	0,37	1,15	1,13	3,165	0,71	2,27	0,97	1,943
	Ca ₈	Mg ₁	0,23	1,39	1,03	2,796	0,41	2,49	0,93	1,896
K ₂	Ca ₁	Mg ₁	1,40	0,07	2,60	7,505	2,82	0,13	2,20	4,532
	Ca ₂	Mg ₁	1,30	0,12	2,50	7,325	2,65	0,27	2,20	4,547
	Ca ₃	Mg ₁	1,20	0,24	2,57	7,457	2,45	0,56	2,23	4,543
	Ca ₄	Mg ₁	0,96	0,41	2,23	6,642	1,96	0,88	2,13	4,449
	Ca ₅	Mg ₁	0,76	0,65	2,47	7,187	1,51	1,38	2,10	4,325
	Ca ₆	Mg ₁	0,51	0,91	2,47	7,133	1,02	1,90	2,10	4,283
	Ca ₇	Mg ₁	0,35	1,20	2,47	6,818	0,66	2,29	2,03	4,114
	Ca ₈	Mg ₁	0,21	1,40	2,13	5,874	0,35	2,52	2,03	4,158
d.m.s. a 5%			0,671				0,260			
C.V. %			4,95				3,08			

O Ca - concentração de cálcio
 O Mg - concentração de magnésio
 O K - concentração de potássio

QUADRO 13. Coeficientes de correlação r e teste t, entre os valores da Relação de Atividade para o íon potássio (RA_K) versus produção de matéria seca; RA_K versus % de K na planta e RA_K versus o teor de K extraído em HNO₃ 0,05 N (Kex), nos solos LVA e LE.

	Matéria Seca		% K na planta		Kex	
	LVA	LE	LVA	LE	LVA	LE
Coeficiente de correlação(r)	0,272	0,336	0,442	0,134	0,965	0,989
t a 5%	1,918	2,425*	3,347*	0,921	24,985*	46,448*

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

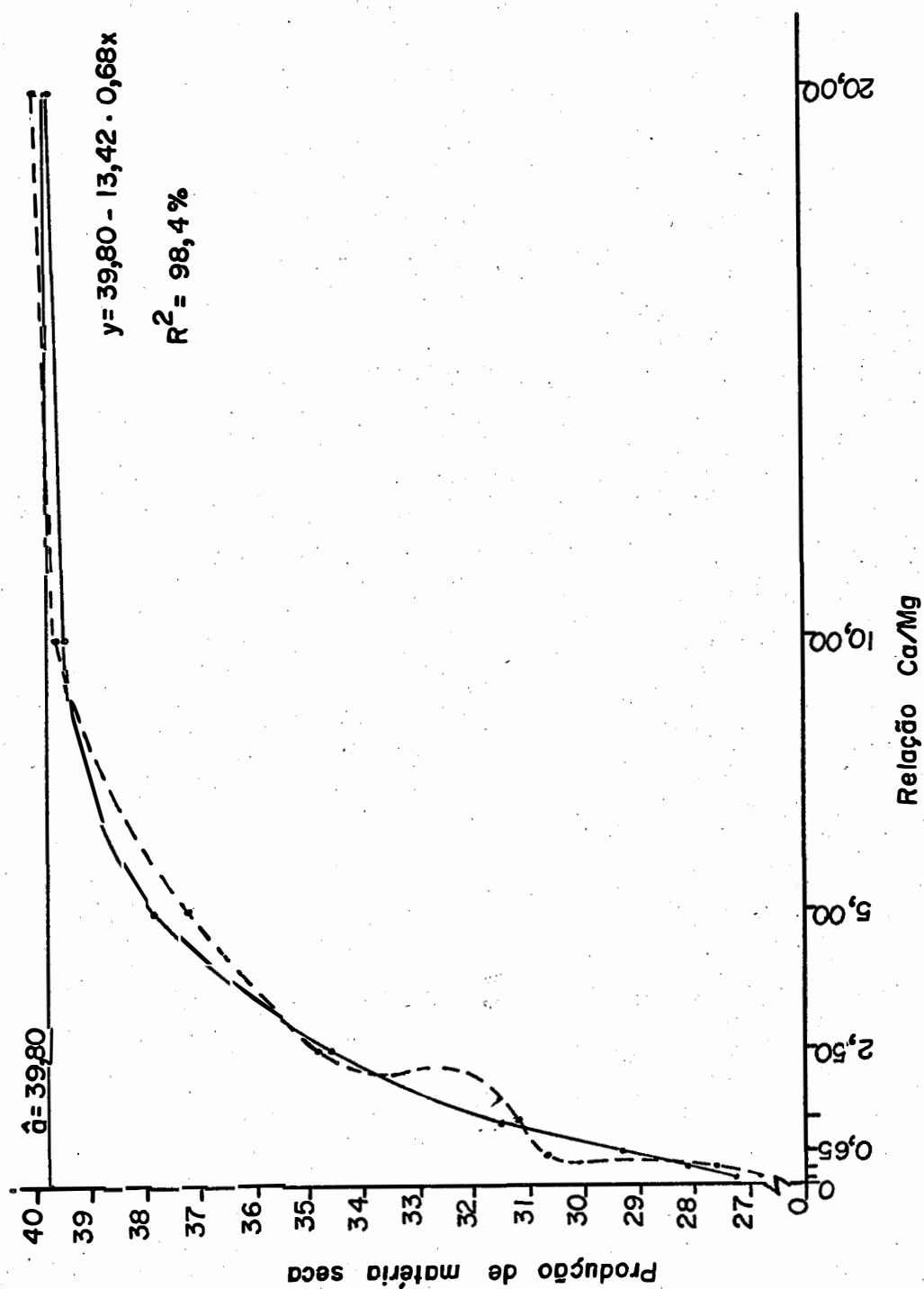


FIGURA 1— Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus produção de matéria seca de centeio, solo LVa.

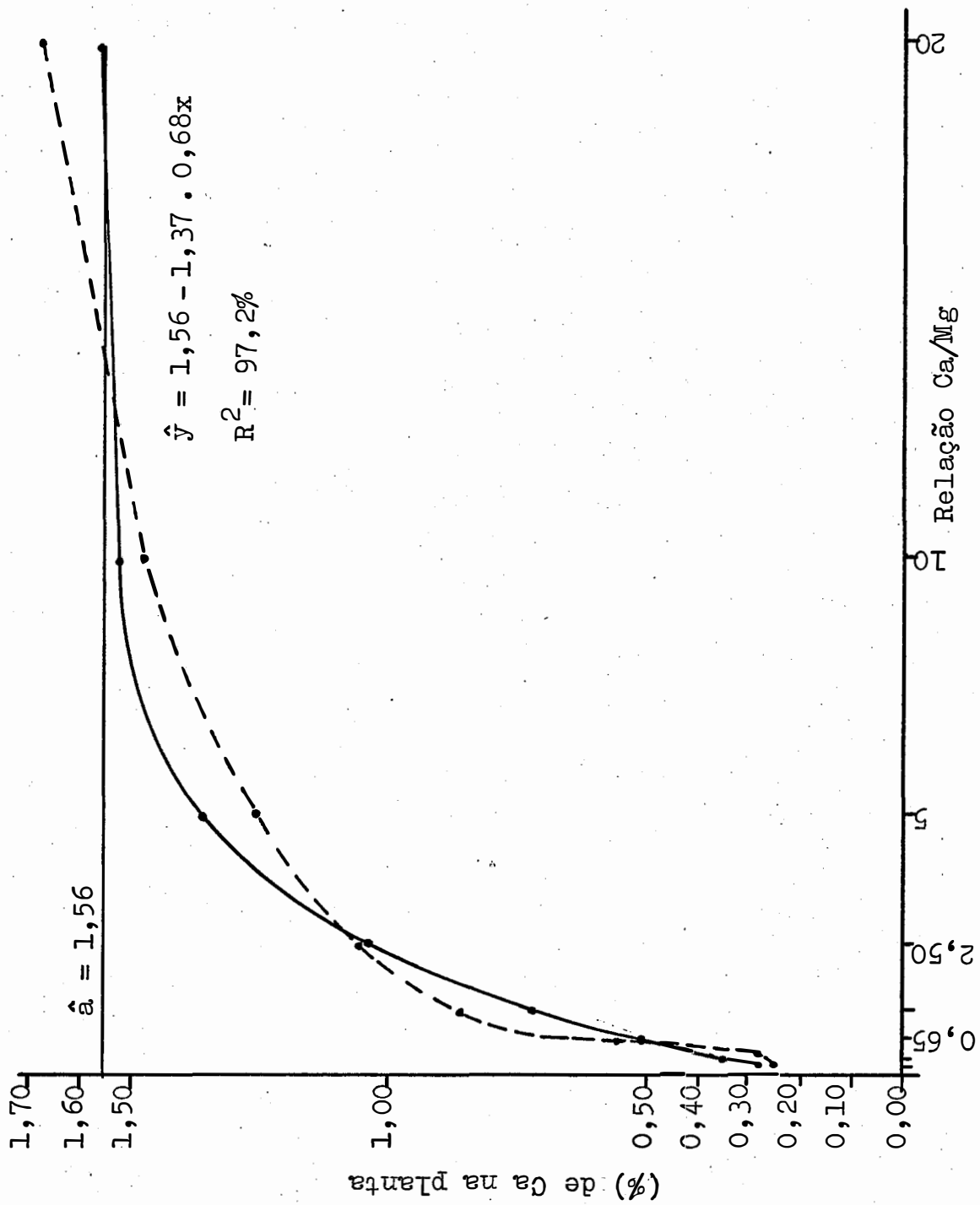


FIGURA 2 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração de cálcio na planta, solo Iva.

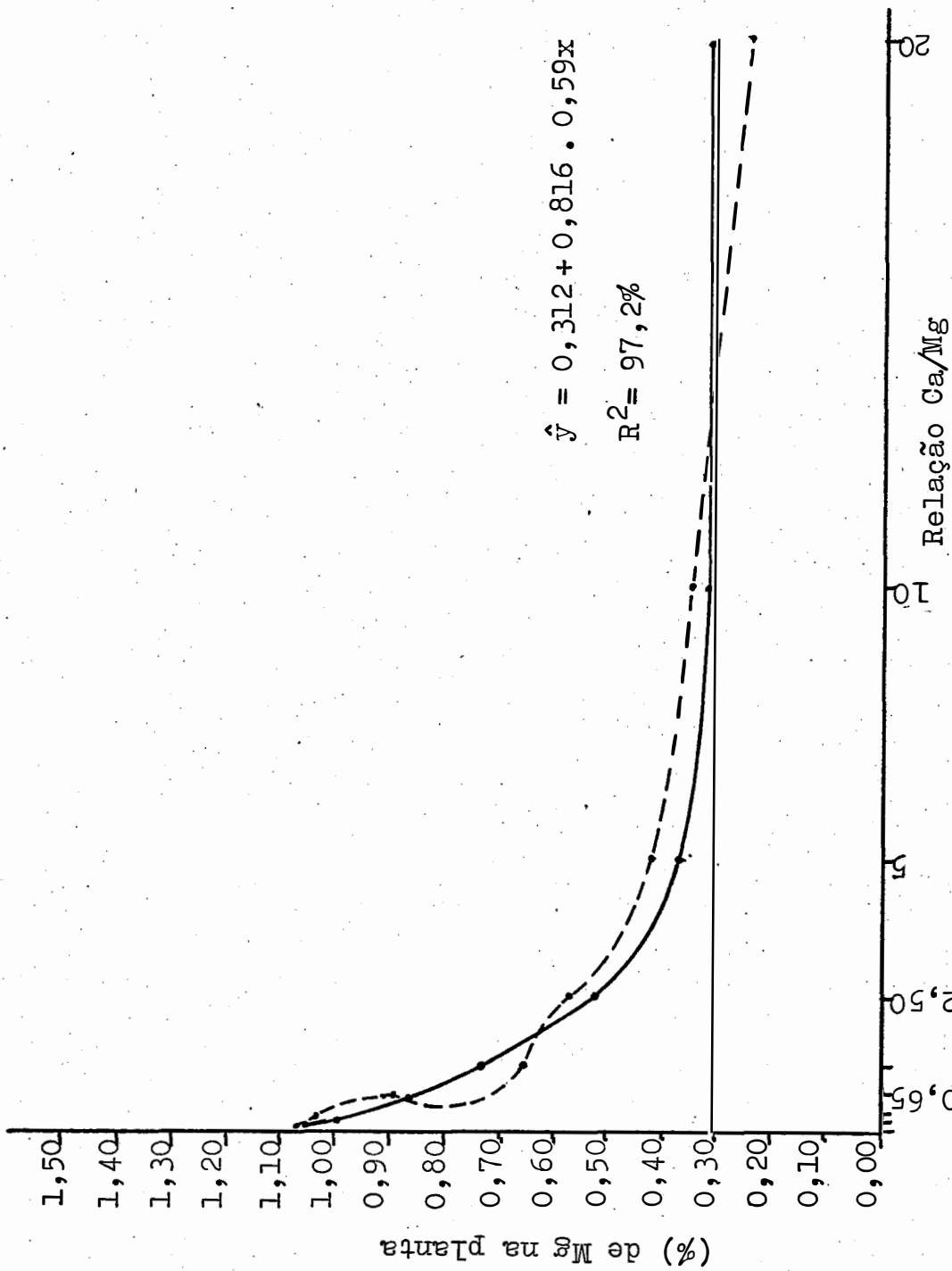


FIGURA 3 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração de magnésio na planta, solo LVa.

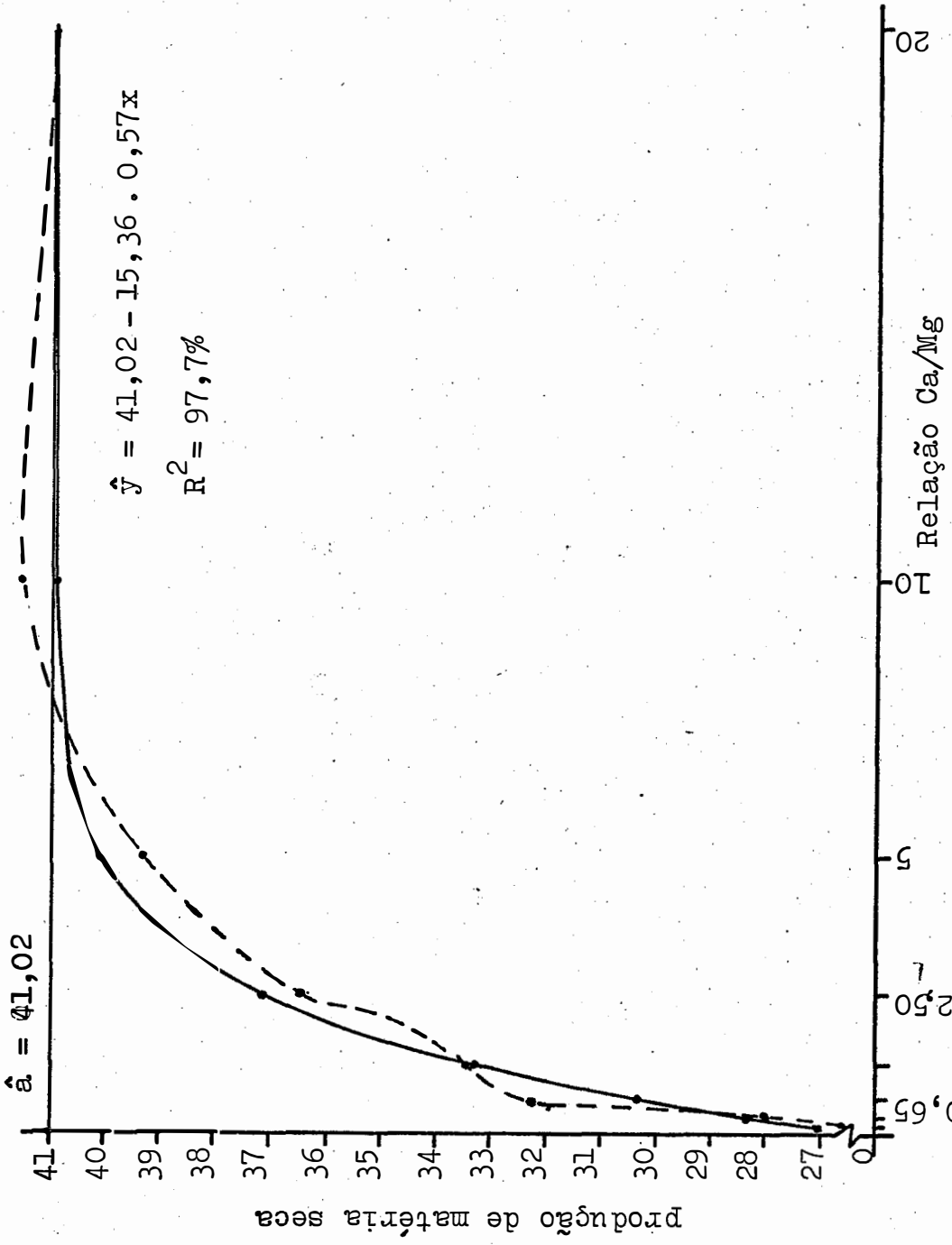


FIGURA 4 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus produção de matéria seca de centeio, solo LE.

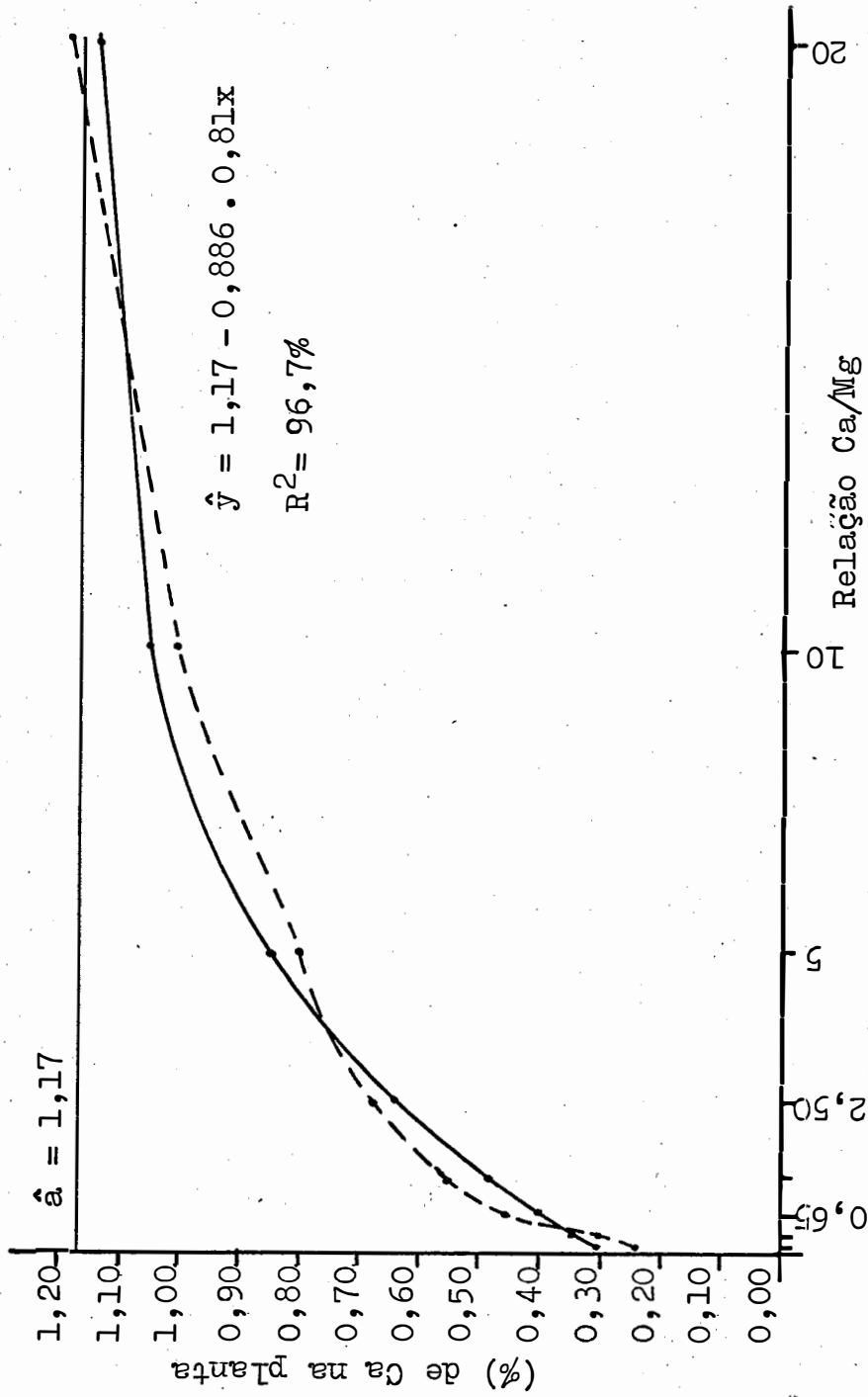


FIGURA 5 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre valores da relação Ca/Mg versus concentração de cálcio na planta, solo LE.

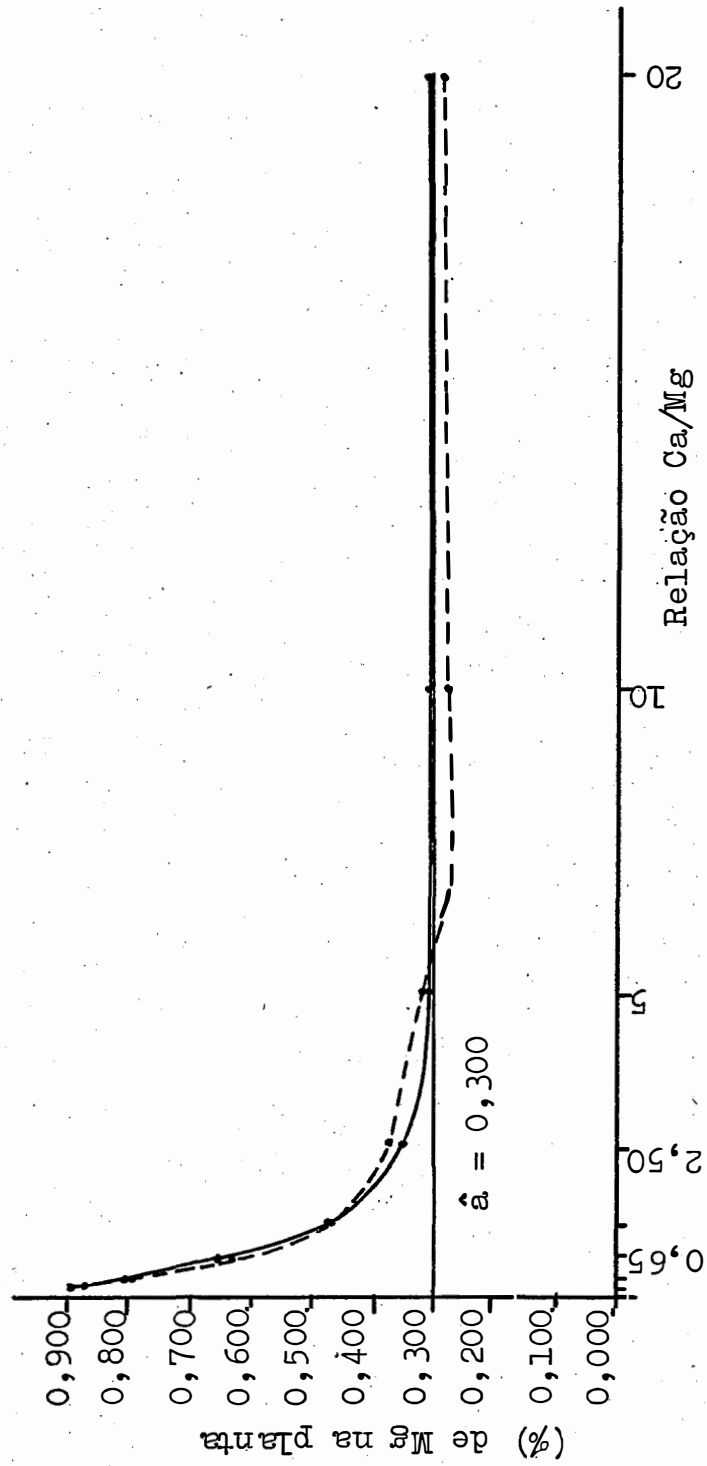


FIGURA 6 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus concentração de magnésio na planta, solo LE.

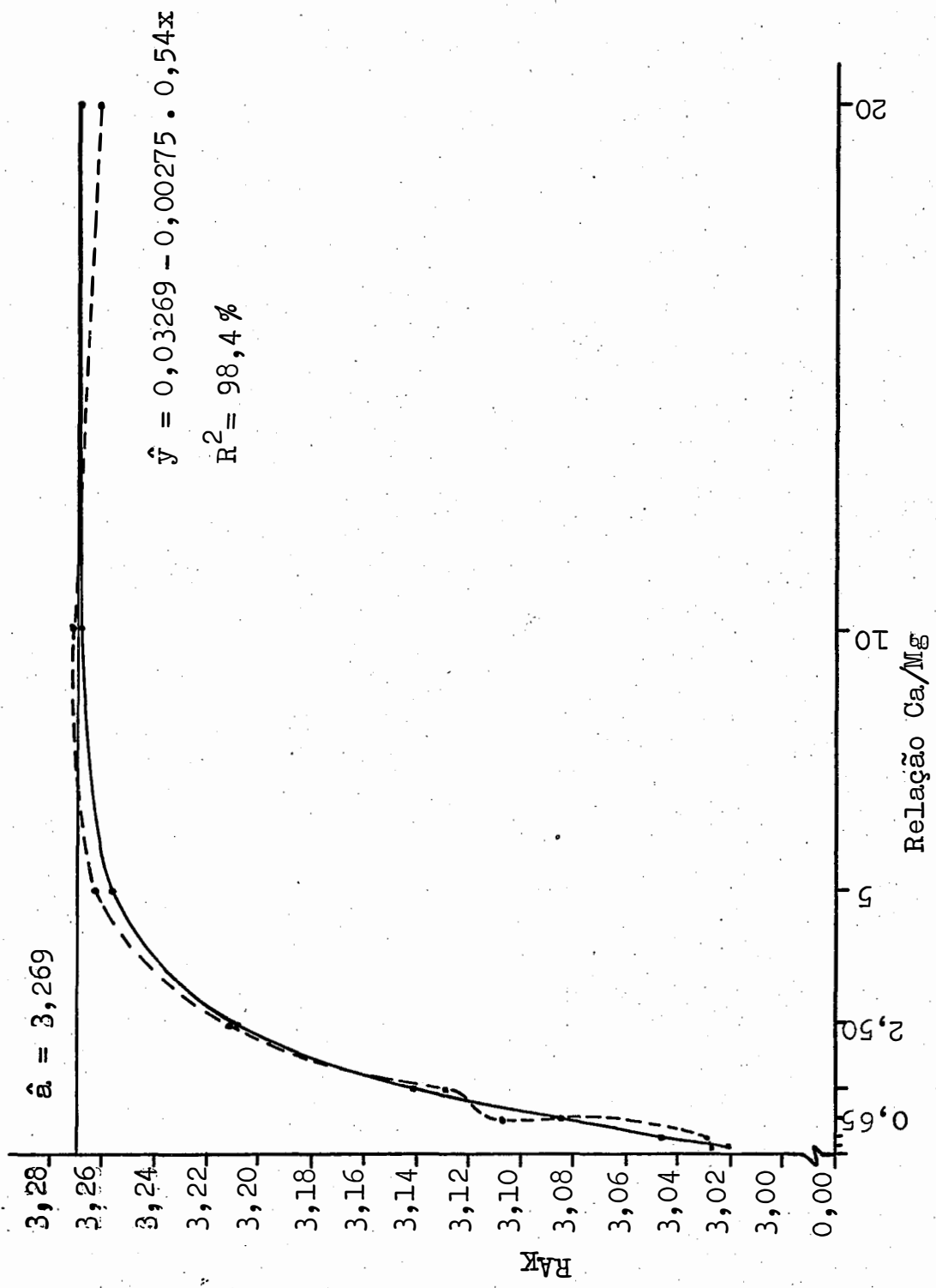


FIGURA 7 - Regressão assintótica para ajustamento aos dados entre os valores da relação Ca/Mg versus valores da relação de atividade para o íon potássio, solo IE.

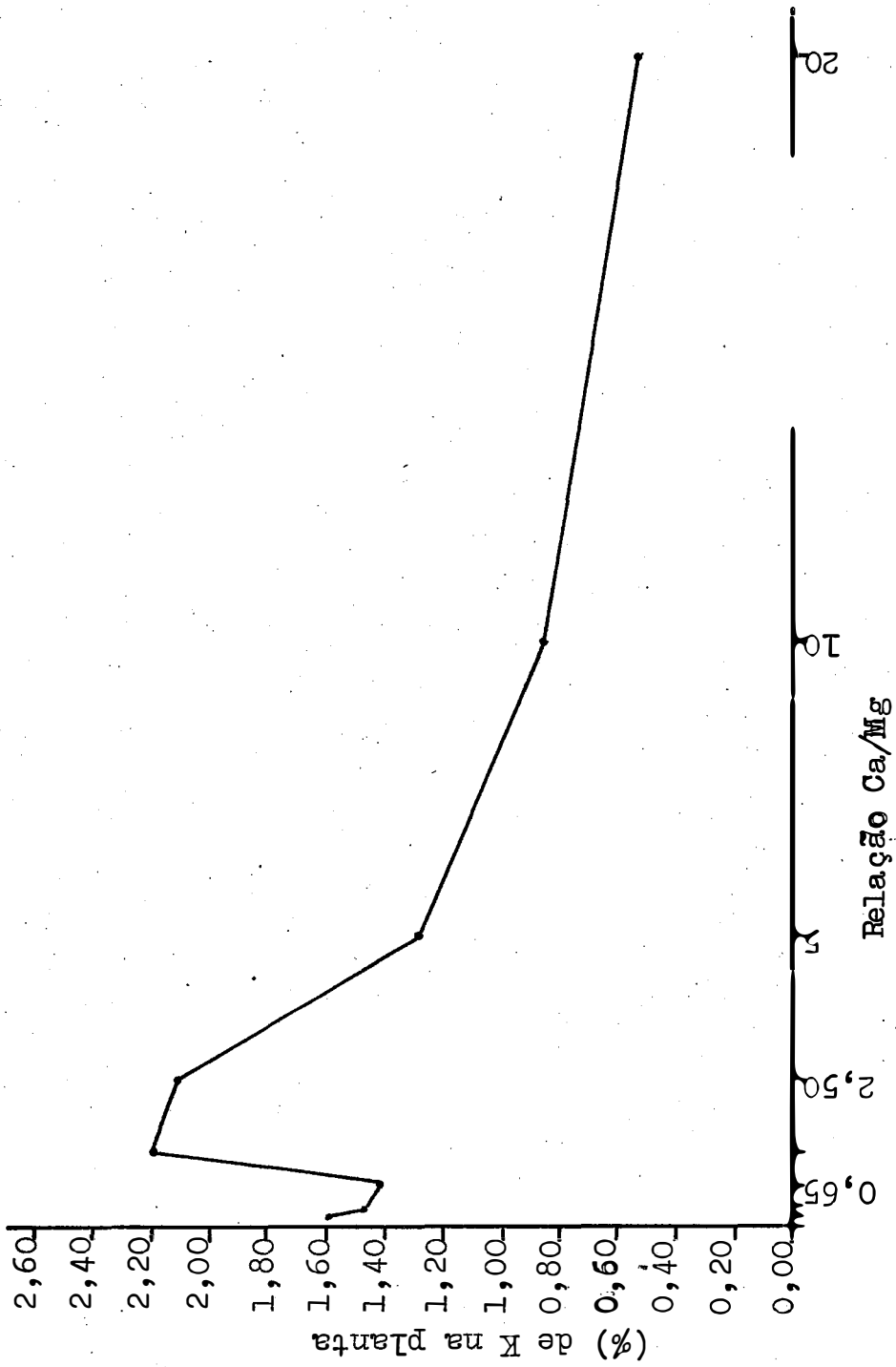


FIGURA 8 -- Relação entre os valores da relação Ca/Mg e concentração (%) de potássio na planta, solo LVa.

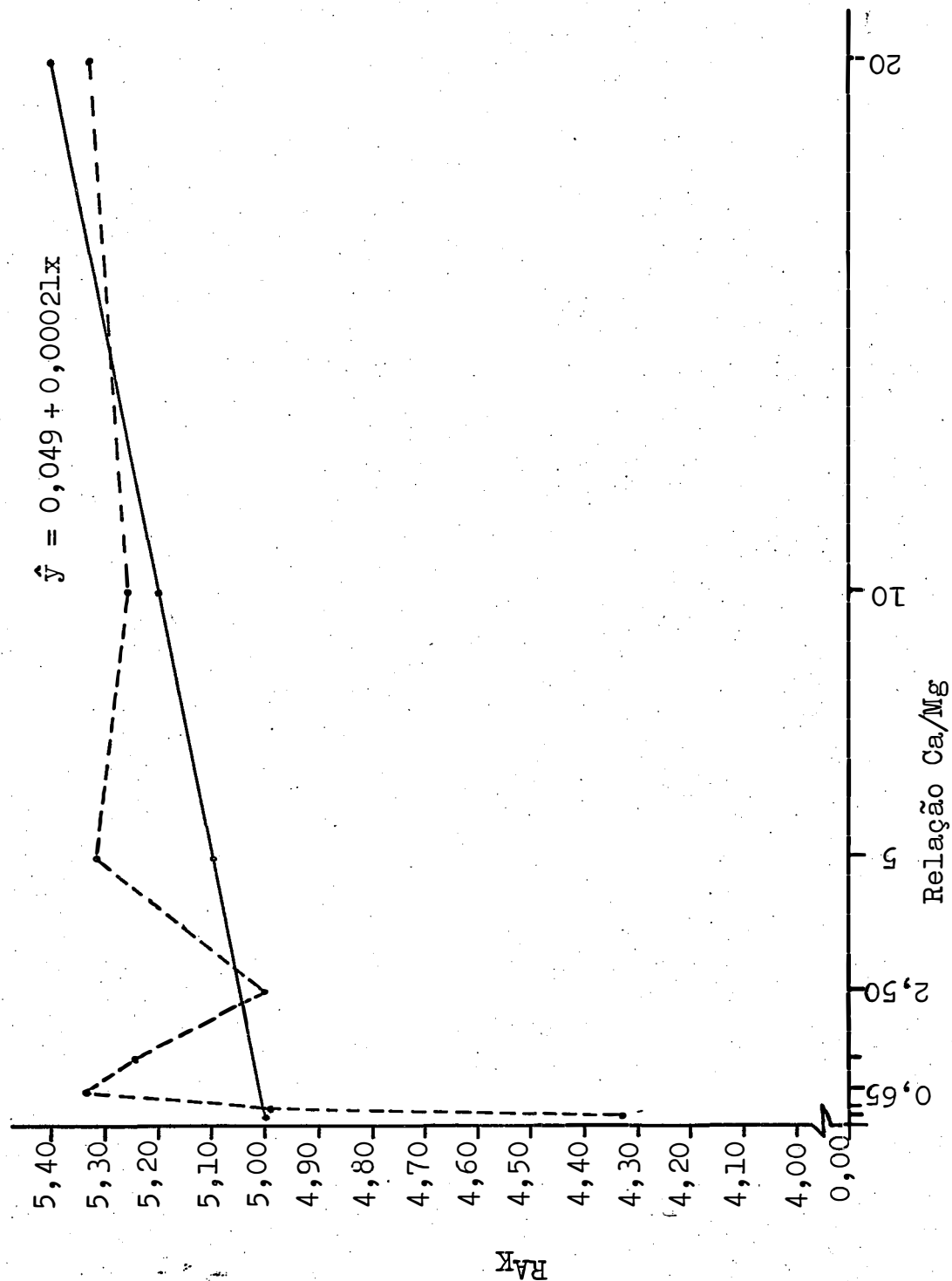


FIGURA 9 - Relação entre os valores da relação Ca/Mg e valores da relação de atividade para o íon potássio, solo IVA.

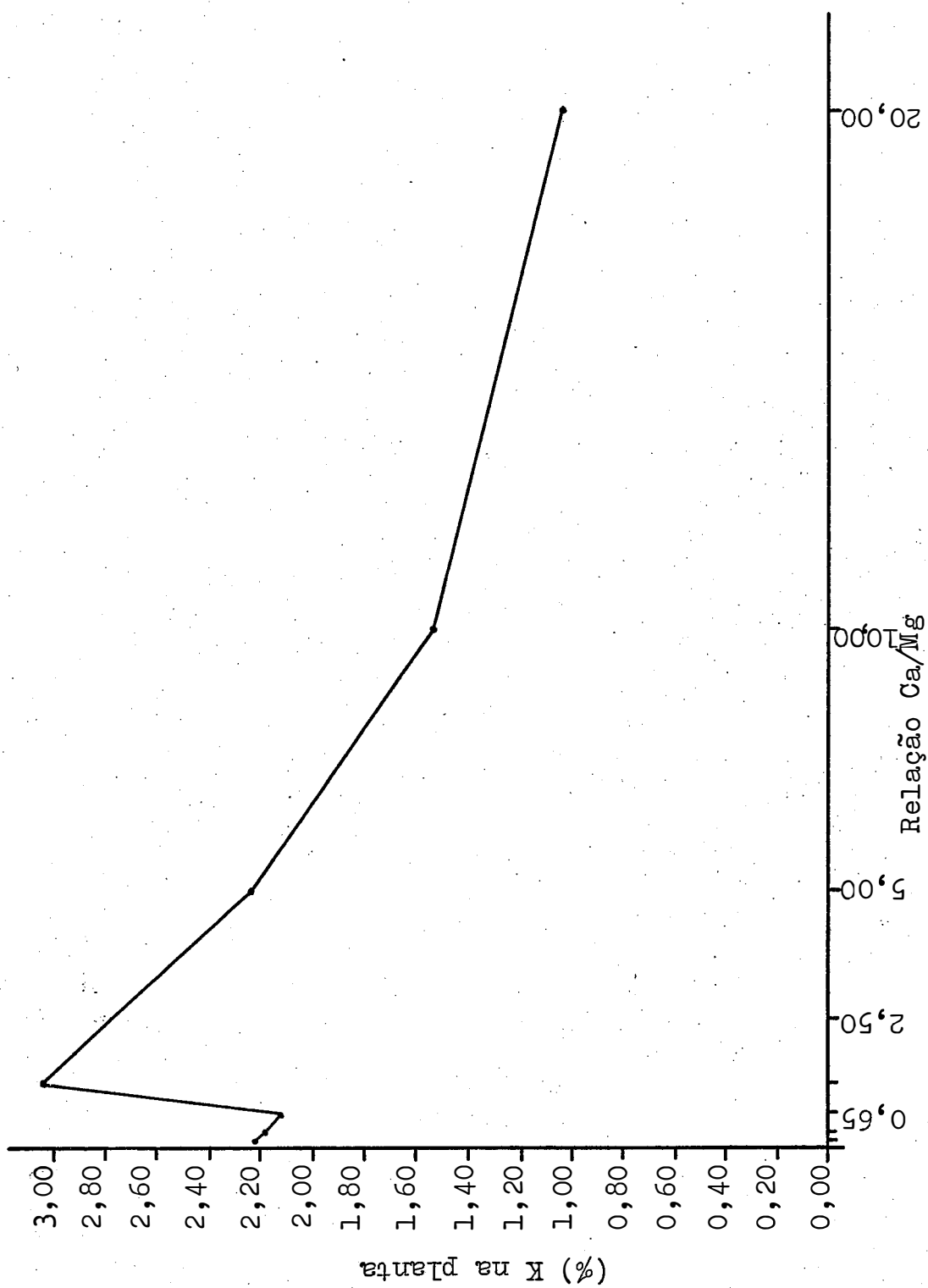


FIGURA 10 - Relação entre os valores da relação Ca/Mg e concentração (%) de potássio na planta, solo LE.

5 - CONCLUSÕES

1. O efeito antagônico entre os cátions cálcio, magnésio e potássio, não ocorreu na produção de matéria seca de centeio.
2. O teor de potássio na planta relacionou-se diretamente com o nível desse cátion no solo, e no solo LVa relacionou-se também com o valor da relação de atividade para o íon potássio.
3. Houve um efeito antagônico, bem caracterizado, do potássio na absorção do cálcio e do magnésio, e em média, esse efeito foi maior sobre a absorção do cálcio do que sobre a do magnésio.
4. Uma alta relação Ca/Mg no solo produziu um efeito altamente benéfico, bem caracterizado em ambos os solos em estudo, na produção de matéria seca. Todavia os dados de concentração de nutrientes na planta mostraram claramente a influência negativa do cálcio e do magnésio sobre a absorção do potássio. A influência do cálcio foi bem mais depressiva na absorção do potássio do que o magnésio.
5. O potássio duplicou os valores da relação de atividade para o íon potássio e esses valores foram bem maiores no Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa.

6 - RESUMO

Com a finalidade de se estudar o efeito da relação Ca/Mg e da relação de atividade do potássio, dentro de dois níveis de potássio sobre a produção de matéria seca e a absorção de potássio pela planta, foram conduzidos dois ensaios em casa de vegetação.

Os ensaios foram instalados em dois solos, classificados de acordo com os critérios da COMISSÃO DE SOLOS DO CNEPA (25) como pertencentes às unidades de mapeamento Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa (Oxissolo) e Latossolo Vermelho Escuro - Ortho (Oxissolo), ambos com baixa fertilidade natural e acidez média, coletados respectivamente, na estrada Mogi-Guassu-Aguaí, a 1 km dentro do limite de Aguaí, e na Estação Experimental de Capão Bonito, do Instituto Agronômico de São Paulo.

Nos dois ensaios, em tudo semelhantes, plantou-se o centeio (Secale cereale L.) variedade Gayerowo, em vasos com capacidade para 9 kg de terra, e obedeceram a um delineamento em blocos inteiramente casualizados, envolvendo oito valores da relação Ca/Mg (20,0; 10,0; 5,0; 2,5; 1,25; 0,65; 0,35 e 0,17) e dois níveis de potássio no solo (0,12 e 0,24 e.mg de K^+ /100 g de terra). Para que essas relações fossem atingidas, os solos receberam quantidades determinadas de carbonato de cálcio, óxido de magnésio e cloreto de potássio, todas drogas pró-análise, e deixados em incubação por um período de 40 dias.

Todos os tratamentos receberam uma adubação básica de nitrogênio e fósforo (30 kg de N/ha e 60 kg de P_2O_5 /ha).

Estabeleceram-se equações de regressão linear para: valor da relação Ca/Mg versus concentração de potássio na planta; relação Ca/Mg versus teor de potássio disponível extraído com solução 0,05 normal de ácido nítrico; relação Ca/Mg versus valores de relação de atividade para o íon potássio. Para os dados onde se observou ocorrer uma tendência assintótica à medida que se aumentou a relação Ca/Mg, foi feita a regressão assintótica para ajustamento aos dados.

Determinaram-se ainda o coeficiente de correlação para: valor da relação de atividade para o íon potássio (RA_K) versus produção de matéria seca; RA_K versus teor de potássio na planta; RA_K versus teor de potássio disponível extraído com solução 0,05 normal de ácido nítrico.

Os dados de produção de matéria seca permitiram observar que o centeio cultivado, em ambos os solos, apresentaram resposta altamente significativa à aplicação de potássio e cálcio. Entretanto os dados de concentração de nutrientes na planta, deixaram bem caracterizado haver um antagonismo bastante pronunciado entre os cátions cálcio, magnésio e potássio, de modo que quando o nível de um dos cátions é alto no solo, a absorção dos outros cátions é reduzida. Os valores da relação de atividade para o íon potássio sofreram um aumento de cerca de 100% com o aumento no nível de potássio no solo e, em função dos solos, esses valo-

res no Latossolo Vermelho Amarelo - fase arenosa, foram aproximada
damente 50% maiores do que os obtidos no Latossolo Vermelho Escu
ro - Orto.

7 - SUMMARY

The effect of Ca/Mg ratio and potassium activity ratio on dry matter yield, and potassium % in plant aerial parts, were studied by means of a plot experiment in greenhouse, sown with rye (Secale cereale L.) - Gayerowo variety and in two soils classified as Red-Yellow Latosol Sandy Phase (Oxisol) and Ortho Dark Red Latosol (Oxisol).

Treatments were obtained by addition of amounts of calcium carbonate, magnesium oxide and potassium chloride, in the way to obtain eight different Ca/Mg ratios - 20.0; 10.0; 5.0; 2.5; 1.25; 0.65; 0.35 and 0.17 - and two levels of soil potassium 0.24 and 0.12 m.e. K^+ /100 g soil. All treatments received a basic application of nitrogen (30 kg N/ha) and phosphorus (60 kg P_2O_5 /ha).

The data obtained were statistically analyzed and regression equations were given, for: Ca/Mg ratio versus dry matter yield; Ca/Mg ratio versus K%, Ca% and Mg% in plant; Ca/Mg versus available K in soil (extraction solution: nitric acid 0.05 N) and Ca/Mg ratio versus K activity ratio. Correlation coefficient were also given, for: potassium activity ratio versus dry matter yield; potassium activity ratio versus K% in plant; potassium activity ratio versus available K in soil.

Dry matter production in both soils was highly influenced by application of potassium and calcium. Otherwise,

the %K and %Ca in plant showed a clear and pronounced antagonism Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ ; the soil level of one of that cations was high, the absorption of the others was reduced.

Potassium activity ratio was 100% higher by means of an increase in soil potassium level. On Red-Yellow Latosol these values were 50% higher than on Ortho Dark Red Latosol.

8 - LITERATURA CITADA

1. ALBAREDA, J.M., V. HERNANDO and M. del P. SANCHEZ CONDE.
1958. Interaccion Ca/K en la absorcion de estos elementos por la planta de trigo: II. Relaciones Ca/K utilizadas y estudio de los resultados obtenidos. An. Edafol. Fisiol. Veg., 17:503-563.
2. _____, _____ and _____.
1958. Interaccion Ca/K en la absorcion de estos elementos por la planta de trigo: III. Influência de la relacion Ca/K en la asimilacion de los distintos elementos por la planta de trigo. An. Edafol. Fisiol. Veg., 17:898-934.
3. ANDERSON, C.A., and F.G. MARTIN. 1971. Effects of soil pH and calcium on the growth and mineral uptake of young citrus trees. Proc. Fla. St. Hort. Soc., 82:7-12.
4. ANDREW, C.S. and F. ROBINS. 1969. The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes: II. Potassium, calcium, magnesium, sodium, nitrogen, phosphorus and chloride. Aust. J. Agric. Res., 20:1009-1021.
5. ARNOLD, P.W. 1960. Potassium supplying power of some British soil. Nature, London, 187:436-437.
6. _____. 1962. The potassium status of some English soils considered as a problem of energy relationships. Proc. Fertil. Soc., 72:25-43.

7. BRADAWY, R. and W. BUSSLER. 1968. Supply and absorption of cation in long term experiment with oats. Potash Rev. 9/15, pp.9.
8. BARROWS, H.L. and M. DROSDOFF. 1958. Effect of nitrogen, potassium, calcium and magnesium on mineral composition of Lakeland Fine Sand in relation to mineral content of Tung Leaves. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 22:426-431.
9. _____, P.C. OZANNE and T.C. SHAW. 1965. Nutrient Potential and Capacity: I. The concepts of nutrient potential and capacity and their application to soil potential and phosphorus. Aust. J. Agric. Res., 16:61-76.
10. BEAR, F.E. and A.L. PRINCE. 1945. Cations equivalents constancy in alfalfa. J. Am. Soc. Agron., 37:217-222.
11. _____ and S.J. TOTH. 1948. Influence of calcium on availability of other soil cations. Soil Sci., 65:69-74.
12. BECKETT, P.H.T. 1964. Potassium calcium exchange equilibria in soils: specific absorption sites for potassium. Soil Sci., 97:376-383.
13. _____. 1964. Studies on soil potassium: I. Confirmation of the ratio law measurements of potassium potential. J. Soil Sci., 15:1-8.
14. _____. 1971. Potassium Potentials. Potash Rev., april/may, 1971.

15. BECKETT, P.H.T. and J.B. CRAIG. 1964. The determination of potassium potentials. 8th Inter. Congr. Soil Sci. Bucarest, Romania. pg. 249-256.
16. BIRCH, J.A., J.R. DEVINE and M.R. HOLMES. 1966. Field experiments on the magnesium requirements of cereals, potatoes and sugar beet in relation to N and K application. J. Sci. Fd. Agric., 17:76-81.
17. BLANCHAR, R.W. and L.R. HOSSNER. 1968. Ionic balance and corn growth in a Port Byron Soil. Agron. J., 60:602-605.
18. BOTTINI, E. and M. MARTORELLI. 1973. Potassium fertilizing and the antagonism between calcium and potassium. Annali Ist. Sper. Nutr. Pl., Série III (279), 12 p.
19. BOWER, C.A. and W.H. PIERRE. 1944. Potassium response of various crops on a high lime soil relation to their contents of potassium, calcium, magnesium and sodium. J. Am. Soc. Agron., 36:608-614.
20. CAROLUS, R.T. 1938. Effect of certain ions used singly and in combination on the growth and K, Ca and Mg absorption of the bean plant. Pl. Physiol., 13:349-363.
21. CATANI, R.A., J.R. GALLO & H. GARGANTINI. 1955. Amostragem de solo; métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico (Boim 69), 29 p.

22. CATANI, R.A. & A.O. JACINTHO. 1974. Avaliação da fertilidade do solo. Métodos de análise. Ed. Livroceres Ltda. São Paulo, 61 p.
23. CHANEL, A. 1969. A study of some aspects of potassium uptake by leaves using the radioisotope ^{42}K . Soil Fertil., 32(2165).
24. COLLANDER, R. 1941. Selective absorption of cations by higher plants. Pl. Physiol., 16:691-720.
25. COMISSÃO DE SOLOS DO CNEPA. 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo, C.N.P.A. Rio de Janeiro, M.A., Bolm nº 12.
26. DAVIDESCU, D. and Z. BORLAN. 1968. Interpretations thermodynamiques des facteurs chimiques de la fertilité du sol. Colloque Franco-Roumain, Redactia Revistelar Agricole, Bucurest. p. 25-47.
27. _____, _____ and C. BORDEIASU. 1966. Nutrient potentials and the chemical factors of soil fertility. Agrochimica, 11:53-64.
28. DURRANT, M.J. and A.P. DRAYCOTT. 1971. Uptake of magnesium and other fertilizer elements by sugar beet growth on sandy soil. J. Agric. Sci., 77:61-68.
29. FASSBENDER, H.W. 1972. Equilibrios catiónicos y disponibilidad de potasio en suelos de América Central. Turrialba, 22:388-397.

30. FONG, K.H. 1973. Effects of potassium nutrition on the absorption of sodium, calcium and magnesium by intact tomato plants. *Comm. Soil Sci. Pl. Anal.*, 4(6):427-441.
31. FUZZATO, M.G. & C.A.M. FERRAZ. 1967. Correlação entre o efeito da adubação potássica no algodoeiro e análise química do solo. *Bragantia*, 26:345-352.
32. HALSTEAD, R.L. and L.M. HEENEY. 1959. Exchangeable and water soluble potassium in soils and degree of saturation in relation on to tomato yields. *Can. J. Soil Sci.*, 32: 129-135.
33. HANSEN, E.M. 1972. Studies on the chemical composition of isolated soil solution and the cation absorption by plants *Pl. Soil*, 37:589-607.
34. HOOD, J.T., N.C. BRADY and D.J. LATHWELL. 1956. The relationship of water-soluble and exchangeable potassium to yield and potassium uptake by ladino clover. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 20:228-231.
35. HOVLAND, D. and A.C. CALDWELL. 1960. Potassium and magnesium relationships in soils and plants. *Soil Sci.*, 89: 92-96.
36. KAHN, J.S. and J.B. HANSON. 1957. The effect of calcium on potassium accumulation in corn and soybeans roots. *Pl. Physiol.*, 32:312-316.

37. JOHANSEN, C., D.G. EDWARDS and J.F. LONERAGAN. 1968a. Interaction between potassium and calcium in their absorption by intact barley plants: I. Effects of potassium on calcium absorption. *P. Physiol.*, 43:1717-1721.
38. _____, _____ and _____. 1968b. Effects of calcium and potassium concentration on potassium absorption. *Pl. Physiol.*, 43:1722-1726.
39. LANGHLIN, W.M. 1969. Nitrogen, phosphorus and potassium influence yield and chemical composition of bluejoint forage. *Agron. J.*, 61:961-964.
40. LEGGETT, G.E. and D.T. WESTERMANN. 1973. Determination of mineral elements in plant tissues using Trichloroacetic acid extraction. *J. Agr. Fd. Chem.*, 21:65-69.
41. LUCAS, R.E. and G.D. SCARSETH. 1947. Potassium, calcium and magnesium balance and reciprocal relationships in plants. *J. Am. Soc. Agron.*, 39:887-896.
42. MacKAY, D.C. and W.A. DeLONG. 1955. Coordinated soil plant analysis: III. Exchange equilibria in soil suspensions as possible indications of potassium availability. *Can. J. Agric. Sci.*, 35:181-188.
43. MacLEAN, A.J. 1960. Water soluble K, per cent K - saturation, and $\text{pH} - 1/2 \text{ p} (\text{Ca} + \text{Mg})$ as indices of management effects on K status of soil. *Trans. 7th Inter. Congr. Soil Sci.*, 3:86-97.

44. MALAVOLTA, E. 1970. Apostilas do Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas. ESALQ, USP, Piracicaba, São Paulo, mimeo., 218 p.
45. _____ & T. COURY. 1954. Em "Apostilas de práticas de Química Agrícola", Centro Acad. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 49 p.
46. MARSCHNER, H. and H. OSSENBERG. 1971. Significance of the accompanying anion on the interactions between K and Ca in the high concentration range. Fertil. Abs., 4(360).
47. MARSHALL, C.E. and S.A. BARBER. 1950. The calcium-potassium relationship of clay minerals as revealed by activity measurements. Soil Sci. Am. Proc., 14:86-88.
48. MARKLAND, F.E. 1969. Influence of nitrogen and potassium on growth chemical composition and anatomical structure of Agrostis palustris Huds. Diss. Abstr., 29(4459).
49. MARTIN, J.P., R.B. HARDING and S. MURPHY. 1953. Effects of various soil exchangeable cations ratios on growth and chemical composition of citrus plants. Soil Sci., 76: 285-295.
50. MEDVEDEVA, O.P. 1968. Potential potassique et conditions de nutrition potassique des plantes. Agrokhimiya, 5: 39-44.

51. MEDVEDEVA, O.P. 1968. Influence of calcium on potassium uptake by plants and the potassium potential of the soil. *Sov. Soil Sci.*, nº 8:1120-1129.
52. MELLO, F.A.F., H.P. HAAG, M.O.C. BRASIL SOBRINHO & H.W.S. MONTEIRO. 1966. A relação K/Mg em plantas jovens de laranja. *Anais da Esc. sup. Agric. "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba. São Paulo, 23:95-107.
53. MENGEL, K. 1963. Investigations concerning the K/Ca potential. *Z. Pflanzenernähr, Düng, Bodenkunde*, 103:99-111.
54. _____ and T. AKSAY. 1954. The potassium concentration of the soil solution and its effect on the yield of Spring wheat. *Soil Sci.*, 77:419-426.
55. MISCHAN, M.M. 1972. Análise econométrica de crescimento de gado bovino. Tese de Doutorado, Botucatu.
56. OMAR, M.A. and T. EL KOBBA. 1966. Some observations on the interrelationships of potassium and magnesium. *Soil Sci.*, 101:437-440.
57. OVERSTREET, R., L. JACOBSON and R. HANDLEY. 1952. The effect of calcium on the absorption of potassium by barley roots. *Pl. Physiol.*, 27:583-590.
58. PANDEI, M. 1972. Uptake and accumulation of K, Ca and Mg by plants at increasing concentrations of one of the cations in the medium. *Soil Fertil.*, 35(1425).

59. PATHAK, A.N and Y. KABRA. 1972. Antagonism between potassium, calcium and magnesium in several varieties of hybrid corn. *Soils Fertil.*, 35(3469).
60. PIERRE, W.H. and C.A. BOWER. 1943. Potassium absorption by plants as affected by cationic relationships. *Soil Sci.*, 55:23-26.
61. SCHEFFER, F. and B. ULRICH. 1962. Consideration regarding the availability to plants of soil potassium. *Potash Rev.* October, 1962.
62. SMITH, P.F., W. REUTHER, A.W. SPECHT and G. HORNCIAR. 1954. Effect of differential N, K and Mg supply to young Valencia orange trees in sand culture on mineral composition specially of leaves and fibrous roots. *Pl. Physiol.*, 29: 349-355.
63. SOIL SURVEY STAFF. 1967. Supplement to soil classification system (7th Approximation). 2 ed. Washington. Soil Cons. Serv. U.S. Dept. Agric., 207 p.
64. STRASMAN, A., P. OVIDER and R. BLANKET. 1958. Valeur comparé des divers tests analytiques relatifs au potassium du sol, d'après la reaction des plants aux engrais potassiques. *Compt. Rend. Acad. Agric. Franc.*, 44:639-642.
65. TINKER, P.B. 1964a. Studies in soil potassium: III. Cation activity ratios in acid Nigerian soils. *J. Soil Sci.*, 15:24-34.

66. TINKER, P.B. 1964b. Studies on soil potassium: IV. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertilizer of Nigerian oil palms. *J. Soil Sci.*, 15:35-41.
67. TEWARI, S.N., M.K. SINHA and S.C. MANDAL. 1971. Studies on the interrelationships among calcium, magnesium and potassium in plant nutrition. *Inter. Symp. of Soil Fertil. Eval. Proc.*, 1:317-325.
68. Van ITALLIE, th. B. 1938. Cation equilibria in plant in relation to the soil: I. *Soil Sci.*, 46:175-186.
69. _____ . 1948. Cation equilibria in plant in relation to the soil: II. *Soil Sci.*, 65:393-416.
70. VIETS, F.G. 1944. Calcium and other polyvalent cation as accelerators of ion accumulation by excised barley roots. *Pl. Physiol.*, 19:466-480.
71. WELTE, E. and W. WERNER. 1963. Potassium-magnesium antagonism in soils and crops. *J. Soil Fd. Agric.*, 14:180-186.
72. WILD, A., D.L. ROWELL and M.A. OGUNFOWORA. 1969. The activity ratio as a measure of the intensity factor in potassium supply to plants. *Soil Sci.*, 108:432-439.
73. WOODBRIGDE, C.G. 1955. Magnesium deficiency in apple in British Columbia. *Can. J. Agric. Sci.*, 35:350-357.
74. WOODRUFF, C.M. 1955. Ionic equilibria between clay and dilute salt solution. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 19:36-40.

75. WOODRUFF, C.M. 1955. The energies of replacement of calcium by potassium in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19: 167-171.
76. YORK, Jr. E.T., R. BRADFIELD, and M. PEECH. 1953. Calcium interaction in soils and plant. II: Reciprocal relationships between calcium and potassium in plants. Soil Sci., 76:481-491.
77. _____, _____ and _____. 1954. Influence of lime and potassium on yield and cation composition of plants. Soil Sci., 77:53-63.