

**EFEITOS DA CALAGEM SOBRE O COMPLEXO DE TROCA DE UM LATOSOLO  
TROPICAL E OS TEORES DE CATIONS ABSORVIDOS PELO TOMATE**

**Por**

  
**François Albert Laroche**

**Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA**

**Centro de Ensino e Investigação**

**Turrialba, Costa Rica**

**Junho, 1966**

**EFEITOS DA CALAGEM SÔBRE O COMPLEXO DE TROCA DE UM LATOSOLO  
TROPICAL E OS TEORES DE CATIONS ABSORVIDOS PELO TOMATE**

Tese

Apresentada ao Conselho da Escola para Graduados  
como requisito parcial para optar ao gráu

de

**Magister Scientiae**

no

**Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA**

APROVADO:



Conselheiro

**Dr. Elemer Bornemisza**



Comité

**Dr. Ludwig Müller**



Comité

**Dr. Hans Fassbender**



Comité

**Eng<sup>o</sup>. Fermin Balerdi**



Comité

**Eng<sup>o</sup>. Kozen Igue**

Junho, 1966

A minha esposa,  
e aos meus filhos.

## AGRADECIMENTOS

O autor apresenta reconhecidos agradecimentos à Organização dos Estados Americanos (OEA) e ao Govêrno dos Estados Unidos do Brasil, êsse representado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), pela Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo Conselho Nacional de Pesquisas e pelo Ministério de Relações Exteriores, os quais contribuíram com recursos financeiros indispensáveis à realização dêsse trabalho.

Agradece ao Prof. Frederick Hardy pela sua orientação na qualidade de conselheiro principal da primeira etapa das investigações.

Agradece de modo especial ao Dr. Elemer Bornemisza que, como membro do comitê, inicialmente, e conselheiro principal, na segunda metade dêsse trabalho, prestou constante estímulo e orientação no planejamento da tese e na solução de todos os problemas que surgiram.

Agradece aos membros do seu comitê, Dr. Ludwig Muller, Dr. Hans Fassbender, Eng<sup>o</sup>. Fermin Balerdi e Eng<sup>o</sup>. Kozen Igue, pela ajuda prestada nas questões de ordem técnica, relacionadas com as suas especialidades.

Agradece à Secretaria de Ensino do IICA, que nas pessoas do Eng<sup>o</sup>. Armando Valle e das secretárias Srtas. Hazel Hodgson e Aiza Vargas, sempre ofereceu uma eficiente, delicada e atenciosa assistência durante todo o período de estudos.

Agradece ao Prof. Levy Cruz pela sua gentil ajuda em revisar a redação do texto.

Agradece ao Laboratório de Investigações Agronômicas da Universidade de Costa Rica por ter franqueado os seus instrumentos, possibilitando a realização de todas as determinações de potássio.

Agradece a todos os seus familiares e amigos pelo estímulo e pela colaboração material que tornaram possível vencer várias dificuldades de ordem particular.

## BIOGRAFIA

O autor nasceu na cidade de Olinda, Estado de Pernambuco, Brasil, em 16 de agosto de 1934.

Realizou seus estudos primários e secundários nos colégios Marista e Nobrega, na cidade do Recife, Pernambuco, durante o período compreendido entre os anos de 1942 e 1953.

Ingressou na Escola Superior de Agricultura da Universidade Rural de Pernambuco, em 1954, tendo concluído o Curso de Engenheiro Agrônomo e colado grau em dezembro de 1957.

Ainda como estudante, em 1956, realizou estágio de seis meses na Comissão de Combate às pragas da Cana de Açúcar do Estado de Pernambuco, e em seguida, passou a trabalhar na Empresa de Produtos Químicos e Fertilizantes Ltda., Recife, como assistente técnico do Departamento de Vendas de Produtos Agrícolas.

Transferiu-se para a Usina Catende S/A, Catende, Pernambuco, em 1958, onde foi responsável durante três anos pelo setor técnico experimental do Departamento de Agricultura.

Foi contratado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), em 1961, tendo desempenhado na sede, no Recife, inicialmente, as funções de engenheiro agrônomo, e posteriormente, durante dois anos, o cargo de chefe da Divisão de Pesquisas e Experimentação Agro-Pecuária.

Foi designado membro do Conselho Deliberativo do Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco, em janeiro de 1964, e como tal permaneceu até setembro do mesmo ano.

Tendo sido distinguido com uma bolsa de estudos da Organização dos Estados Americanos e obtido licença da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, ingressou no Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, em setembro de 1964, para realizar estudos de pós-graduação.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

	Página
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
1. Conceito, histórico e uso atual da calagem .....	3
2. Fatores da calagem .....	4
A. Fatores do solo .....	4
B. Fatores da planta .....	8
C. Fatores do calcário .....	11
3. A necessidade de calagem dos solos tropicais segundo as suas características, a produtividade agrícola e o abastecimento de fertilizantes .....	12
4. Necessidade de investigações sobre a calagem nos trópi- cos e objetivos deste trabalho .....	14
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
1. Desenho experimental .....	16
2. Características do solo .....	17
3. Materiais de calagem .....	19
4. Preparo dos potes .....	19
5. Cronograma de execução e observações .....	21
6. Análises químicas do solo .....	23
6.1. pH .....	24
6.2. Carbonato residual .....	24
6.3. Bases trocáveis e capacidade de troca de cations .....	24
6.4. Matéria orgânica .....	27
7. Análises químicas da planta (Ca, Mg e K) .....	27
8. Análises estatísticos .....	28
<b>RESULTADOS</b> .....	29
1. A acidez do solo .....	29
2. A solubilização das misturas de carbonatos .....	31
3. A variação das características do complexo de troca do solo .....	33
4. O teor de matéria orgânica do solo.....	38
5. O desenvolvimento do tomate .....	38
6. A variação dos teores de cations absorvidos pelo toma- te .....	41

	<b>Página</b>
DISCUSSÃO .....	49
CONCLUSÕES .....	58
SUMÁRIO .....	60
RESUMEN .....	63
SUMMARY .....	66
LITERATURA CITADA .....	69
APÊNDICES (quadros Nos. 3 a 26) .....	76

## INTRODUÇÃO

Em geral, a economia dos países tropicais está baseada sobre a agricultura. Os rendimentos de suas culturas, comparados com os de outros países de agricultura intensiva, deixam muito a desejar.

Os solos das zonas úmidas e sub-úmidas, excluindo-se aqueles de drenagem impedida e os sujeitos à ação aluvional ou vulcânica, são latossolos bastante intemperizados com um complexo de troca pobre de cálcio e magnésio e elevada acidez representada por alumínio e hidrogênio trocáveis. A carência de cálcio e magnésio, a presença de alumínio e manganês em concentrações tóxicas às plantas, a fixação de fósforo como fosfato de alumínio e ferro e a pequena mineralização de fósforo e nitrogênio orgânicos determinam a baixa produtividade.

Há muito, em regiões de clima temperado, o duplo objetivo de se fornecer cálcio e magnésio às plantas e controlar os efeitos negativos da acidez do solo vem sendo conseguido pela calagem, ou seja, pela incorporação ao solo de carbonatos, hidróxidos e óxidos de cálcio e magnésio.

No manejo da fertilidade de solos de climas tropical úmido e sub-úmido o uso da calagem ainda não se generalizou. Talvez os efeitos negativos ocasionais provenientes da sobre-calagem, provocando depressões de zinco, manganês e potássio, tenham desacreditado a técnica.

Sob o aspecto agrônomo, a importância da calagem nos trópicos se justificaria principalmente pelas características químicas do solo, pela necessidade de se elevar a produtividade agrícola e pela escassez de fertilizantes produzidos na região.

A calagem é função de inúmeros fatores, classificados como fatores do solo, da planta e do calcário.

No solo, considerando os aspectos de acidez a ser neutralizada e disponibilidade de cations, as características do complexo de troca - capacidade de troca de cations, saturação de cálcio e magnésio, e proporção de cations - são os fatores que condicionam diretamente o manejo da técnica. Entretanto, a presença de alumínio e manganês em concentrações tóxicas à planta, a fixação de fósforo e molibdênio, a baixa mineralização de fósforo e nitrogênio orgânicos, embora sejam uma consequência do estado de acidez ou do índice de saturação do complexo, condicionam também o uso da calagem.

Com respeito à planta, os fatores de maior interesse são a função do cálcio e magnésio, a absorção do cálcio e magnésio e a adaptação da planta à acidez do solo, todos variando de espécie para espécie.

Os fatores do calcário são as suas características físicas e químicas.

Grande quantidade de trabalhos, tanto de caráter científico como tecnológico, é necessária para aclarar as vantagens e desvantagens da prática da calagem em solos tropicais.

Visto que o conhecimento dos efeitos dos fatores do calcário - proporção cálcio/magnésio e quantidade - é de importância fundamental para a aplicação da técnica da calagem, os estudos que aqui se apresentam têm por objetivos dimensionar e discutir as variações do complexo de troca do solo e dos teores de cations absorvidos pela planta.

Os trabalhos foram realizados com o horizonte A de um latosolo tropical de Costa Rica, mantido em invernadouro durante 195 dias e cultivado com tomate duas vezes.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1. Conceito, histórico e uso atual da calagem

Destacados autores como Black (9), Coleman et al (22), Mehlich e Coleman (53), Seatz e Peterson (72) e Truog (77) definem a calagem como a técnica de incorporar ao solo carbonatos, hidróxidos e óxidos de cálcio e magnésio para lograr:

- a) o suprimento de cálcio e magnésio à planta;
- b) a correção dos efeitos nocivos da acidez elevada.

Escobar (28) relata que o valor agrícola de certos tipos de cal já era conhecido há 2.000 anos atrás. Relata, também, a publicação do livro "Abonos Calcareos" pela American Farmer, nos Estados Unidos, em 1832, e a prática da calagem no Norte da Alemanha e regiões graníticas da França, no século XIX.

Wright (81), em 1912, refere que o uso intensivo da calagem na Inglaterra iniciou-se na segunda metade do século XIX.

Truog (77), em 1938, assinala que nos Estados Unidos o uso do calcário de modo intensivo desenvolveu-se apenas em algumas localidades e até então não estava generalizado por falta de métodos satisfatórios.

Em 1964, Matsusaka e Sherman (50) comentam que o emprêgo da calagem em Hawaii é insignificante em relação à área cultivada, talvez devido aos efeitos da sôbre-calagem, que ocorreram ao se aplicar calcário sem estudos prévios suficientes.

Na mesma época, Breland (13) informa que a calagem é praticada em menos da metade dos solos cultivados da Flórida que a necessitam.

Outras regiões tropicais, segundo se conclui de certas referências

(1, 17, 49, 58), apresentam pequeno uso ou se encontram em fase experimental.

Em resumo, quanto à história e uso atual, a literatura informa que a calagem, apesar de ser conhecida desde o início da Era Cristã, sómente a partir da segunda metade do século XIX foi praticada intensivamente na Europa e América do Norte. Nos trópicos, o uso é recente e está pouco generalizado; apenas uns países empregam ou experimentam a calagem em algumas de suas áreas agrícolas.

## 2. Fatôres da calagem

Coleman et al (22) classificam os fatôres que intervêm na calagem em três grupos: fatôres do solo, da planta e do calcário.

### A. Fatôres do solo

A literatura permite distinguir dois tipos de efeitos da calagem no solo: um direto, sobre o complexo de troca, e outro indireto, devido à elevação do pH. Portanto, é possível separar os fatôres de relação direta e os fatôres de relação indireta. Entre os primeiros devem-se considerar:

- a) a capacidade de troca de cations,
- b) a natureza do coloide,
- c) o índice de saturação,
- d) a concentração de cations e
- e) a distribuição de cations.

A capacidade de troca de cations, ou carga negativa do coloide de cuja neutralização depende a reação do solo, é característica para os diversos minerais de argila e matéria orgânica. No entanto, segundo diminua ou

aumento o pH, a capacidade de troca de cations diminui ou aumenta dentro de certos limites, devido à menor ou maior ionização dos grupos ácidos fracos componentes do complexo (80).

O poder de variar a carga negativa ou a necessidade de bases para a neutralização, segundo o pH, é chamado aqui de capacidade amortiguadora.

De acôrdo com Pratt (67), a capacidade de troca de cations quando aferida a um determinado pH, por estar correlacionada com a capacidade amortiguadora, permite estimar a quantidade de carga negativa a ser neutralizada, uma vez conhecida a curva de neutralização do solo.

A natureza do coloide é a sua composição mineralógica (53). Os diferentes grupos de minerais de argila e materiais amorfos possuem capacidades de troca de cations características. O conhecimento da natureza do coloide interessa para a calagem, devido às variações de capacidade amortiguadora e energia de adsorção de cations: os coloides de baixa capacidade de troca são os minerais de estrutura 1:1, os quais têm pequena capacidade amortiguadora e adsorvem fortemente os cations monovalentes; os coloides de alta capacidade de troca são os minerais de estrutura 2:1, os coloides orgânicos e os complexos minerais orgânicos, os quais têm alta capacidade amortiguadora e adsorvem fortemente os cations divalentes (80). Grande parte da capacidade de troca de cations e capacidade amortiguadora têm sido atribuída aos minerais amorfos (60).

O índice de saturação do complexo de troca do solo é o produto da proporção soma de bases trocáveis/capacidade de troca de cations por 100 (80).

A concentração de cations é representada pelas suas quantidades em miliequivalentes químicos por 100 gramas de solo. Em um solo ideal, 65% do complexo está saturado com  $\text{Ca}^{+2}$ , 10 a 15% com  $\text{Mg}^{+2}$  e 5% com  $\text{K}^{+}$  (80).

Como o potássio trocável é baixo em relação à capacidade de troca de cations, o índice de saturação do complexo é influenciado principalmente pela concentração de cálcio mais magnésio trocáveis. Quanto menor a concentração de cálcio mais magnésio trocáveis, menor o índice de saturação e maior a acidez trocável ou potencial (21). Portanto as concentrações de cálcio e magnésio trocáveis indicam, além de suas quantidades existentes no complexo, a acidez a ser neutralizada.

O índice de saturação exerce influência na liberação de cations. Vários são os trabalhos que fazem referências a êsse aspecto. Mehlich e Reed (55), por exemplo, relatam terem obtido menores perdas de potássio e magnésio em lavados quando o índice de saturação estava em níveis altos. Mehlich e Cowell (54), encontraram máxima disponibilidade de cálcio para a cultura do amendoim em solos caoliníficos em índices de saturação compreendidos entre 26% e 40%.

A distribuição de cations são suas quantidades relacionadas entre si. A adição de materiais de calagem ao solo modifica a distribuição de cations no complexo e o equilíbrio adsorção-liberação de ions, interferindo na disponibilidade de cations (53).

Para Wiklander (80), o equilíbrio adsorção-liberação de um ion depende do seu grau de saturação no complexo, de sua atividade e dos ions complementares. O poder de adsorção ou substituição de um ion varia entre os cations na seguinte ordem:  $\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Mg}^{+2} < \text{Ca}^{+2} < \text{H}^+, \text{H}^+$ , que em solos ácidos é representado quasi totalmente por  $\text{Al}^{+3}$  (20), pode ter o mais baixo poder de adsorção se o solo é ácido ou mais alto se o solo é alcalino (25).

Se ao variar a distribuição de cations se mantêm constantes o índice de saturação e o potássio trocável, com base no exposto, conclui-se que a adsorção ou liberação de cations dependerá da proporção  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ .

De acôrdo com Beckett (3), ao variarem as quantidades de cálcio e magnésio, o equilíbrio ionico  $Ca^{+2}/Mg^{+2}$  pode obedecer a relação de Kerr e Vanselow,  $[Ca] / [Mg] = K \cdot (Ca)/(Mg)$ . Nessa relação, os colchetes representam as concentrações moleculares, os parênteses, as atividades iônicas e k é uma constante de proporcionalidade denominada constante de Gapon.

Halstead et al (33) neutralizaram a acidez de quatro podzols do Canadá com diferentes quantidades de  $CaCO_3$  e  $MgCO_3$  numa amplitude de variação da relação Ca/Mg trocáveis entre 0,6 e 13,5; os resultados, embora sem mostrarem efeitos sôbre os rendimentos da alfafa, evidenciam a diminuição de Ca trocável por influência de  $MgCO_3$  e de Mg trocável devido ao  $CaCO_3$ .

Segundo Mehlich e Coleman (53) e Hardy (34), a proporção ideal entre cálcio e magnésio trocáveis, deve estar compreendida entre 4,0 e 6,0.

Os fatores de relação indireta são fatores dependentes do pH que em condições de acidez causam os seguintes efeitos nocivos:

- a) a presença de alumínio e manganês solúveis em concentrações tóxicas às plantas;
- b) a fixação de fósforo e molibdênio pelos óxidos amorfos e hidróxidos de alumínio e ferro, impedindo uma adequada disponibilidade desses nutrientes;
- c) a diminuição de atividade dos microorganismos mineralizadores de nitrogênio e fósforo orgânicos, dos microorganismos fixadores de nitrogênio do ar e o aumento de atividade de microorganismos patógenos.

A presença de alumínio e manganês solúveis em concentrações elevadas devido à acidez do solo, pode ser exemplificada, respectivamente, pelos resultados do experimento de Rixon e Sherman (69), em Hawaii, do de Messing

(56), na Europa, e do de Peralta (64), em Costa Rica. Todos êsses autores encontraram que a quantidade de  $Al^{+3}$  e  $Mn^{+2}$  era tanto maior quanto mais baixo o pH.

A fixação de fósforo pelos óxidos amorfos e hidróxidos de alumínio e ferro é bem ilustrada pelo trabalho de Sherman e Chu (75), que, depois de submeterem 9 solos de Hawaii a 24 horas de contacto com solução fosfatada, determinaram índices de fixação de fósforo entre 6 e 80%, segundo a presença de diferentes quantidades de  $R_2O_3$  e pH.

A fixação do molibdênio por processo semelhante ao do fósforo é referida por Mitchell (59).

A alteração da atividade de microorganismos mineralizadores, fixadores do nitrogênio do ar e patógenos é bastante conhecida. Eno (27), em trabalho recente de revisão de literatura, salienta que ao subir o pH até a neutralidade aumenta a atividade dos microorganismos mineralizadores e fixadores do nitrogênio atmosférico e diminui a população dos fungos e nematoides patógenos.

Com respeito à importância dos fatores do solo, tanto os de relação direta como os de relação indireta, é difícil estabelecer uma ordem de prioridade. Todos devem ser considerados em conjunto, principalmente sob os aspectos de disponibilidade de nutrientes e eliminação dos efeitos nocivos da acidez. Assim, deve-se buscar os estados ótimos de suprimento de cálcio e magnésio e de reação do solo.

## B. Fatores da planta

Coleman et al (22) apresentam a resposta da planta à calagem como uma consequência dos efeitos decorrentes do papel do cálcio e magnésio na

nutrição e da mudança do estado da acidez do solo, esta influenciabilidade de elementos nutritivos ou tóxicos.

Meyer et al (57) separam a nutrição mineral em dois aspectos e adsorção.

A combinação dos conceitos desses autores conduz ao estabelecimento da seguinte divisão de fatores:

- a) a função de cálcio e magnésio na planta,
- b) a absorção de cálcio e magnésio pela planta e
- c) a adaptação da planta ao estado de acidez do solo.

Nason e McElroy (62) atribuem ao cálcio a função de elemento constituinte da lâmina média, dos sais solúveis e insolúveis do suco celular e dos enzimas fosfatasas que catalizam a transformação de açúcar em amido. Mencionam as funções de elemento antagônico ao potássio no controle da organização celular (estado de hidratação, permeabilidade e reações enzimáticas) e agente melhorador da adsorção de nitratos e fosfatos.

Meyer et al (57) referem o magnésio como elemento constituinte da clorofila e agente ativador específico de enzimas transfosforilasas, desidrogenasas e carboxilasas.

A absorção de cations depende das características do solo e da planta.

No solo, desde que seja constante a fração mineral-orgânica do complexo de troca, a concentração de cations e a distribuição de cations regem a absorção.

Bould e Hewitt (12) relatam resultados de trabalhos de investigação, nos quais se obtiveram correlações altamente significativas entre as saturações de Ca, Mg, K e Na trocáveis do complexo de troca do solo e os

200-222

teores desses cations na planta,

Key et al (46) observaram efeitos da proporção cálcio/magnésio trocáveis do complexo de troca sobre a relação Ca/Mg da soja e do milho.

Quanto às características da planta, de acordo com Breland (13), as quantidades de cálcio e magnésio absorvidas variam dentro de um grupo de espécies que menciona. Drake et al (25) consideram como característica importante da absorção de cations a capacidade de troca das raízes: as plantas que têm as raízes com maior capacidade de troca, as leguminosas por exemplo, absorvem o cálcio e o magnésio com maior facilidade do que o potássio; as plantas que têm as raízes com menor capacidade de troca, as gramíneas, absorvem o potássio com maior facilidade do que os cations divalentes. Assim, as características da planta seriam as suas necessidades de cálcio e magnésio e a capacidade de adsorção de ions.

Os efeitos da reação do solo sobre o desenvolvimento das plantas foram bem definidos por Truog (78) e podem ser resumidos em:

- a) ação desequilibradora ou tóxica dos ions  $H^+$  e  $OH^-$ ,
- b) variação da disponibilidade de substancias tóxicas e nutrientes e
- c) variação da atividade de microorganismos.

A ação desequilibradora dos ions  $H^+$  foi estudada por Brown e Albrecht (14). Esses autores observaram que ao aumentar a proporção  $Ca^{+2}/H^+$  no solo crescia a adsorção de cations por uma membrana artificial de propriedades idênticas às das raízes das plantas.

A ação tóxica dos ions  $H^+$ , dentro dos limites de variação de pH dos solos agrícolas, provavelmente é nula. Black (9) atribui o efeito nocivo dos ions  $H^+$  à solubilização de alumínio e manganês em concentrações tóxicas. Cita o exemplo do milho, que cultivado em solução nutritiva, diminui

o rendimento quando a concentração de  $Al^{+3}$  é superior a 1 ppm e o pH é inferior a 5,0.

A variação da atividade de microorganismos se reflete no estado fitossanitário e na nutrição mineral, segundo proporcione condições de acidez ou alcalinidade para os organismos patogênicos, mineralizadores, imobilizadores e simbioses (27).

A adaptação da planta à acidez do solo depende, portanto, de suas características. Considerando, por exemplo, a tolerância à toxicidade de  $Al^{+3}$  e  $Mn^{+2}$  e as quantidades de cálcio e magnésio absorvidos, existe uma variação grande de estados de adaptação desde o chá à alfafa.

Chenery (18) informa que o chá acumula até 16.000 ppm de alumínio nas folhas e necessita desse elemento para um maior vigor. Informa também que o chá é tolerante à toxicidade de manganês e vegeta em um pH menor do que 6,0.

Muitas plantas tropicais, como por exemplo o arroz e a cana de açúcar, suportam bem os efeitos nocivos da acidez do solo e respondem à calagem devido ao suprimento de cálcio, Richardson (68).

Breland (13) apresenta a alfafa como uma das culturas que retira mais cálcio e magnésio do solo e necessita pH elevado, entre 6,0 e 7,5.

### C. Fatores do calcário

Vários autores são unânimes em considerar os materiais de calagem, aqui chamados de calcário, segundo suas características físicas e químicas (13, 15, 22, 72). Dentre essas, têm importância como fatores da calagem a proporção Ca/Mg, a pureza e o tamanho da partícula.

A proporção Ca/Mg é variável. Chichilo e Wittaker (19) encontraram entre 194 tipos de calcário dos Estados Unidos, desde a calcita à dolomita, teores de  $CaCO_3$  entre 44,9 e 99,2% e de  $MgCO_3$  entre 0,15 e 44,5%.

A pureza, bem como a proporção Ca/Mg e as formas carbonato, hidróxido e óxido, influenciam o poder de neutralização (13).

O tamanho da partícula influi na velocidade de reação: quanto menor o tamanho, maior a velocidade de reação (72).

Reunidas em conjunto, a pureza, a proporção Ca/Mg, as formas carbonato, hidróxido e óxido e o tamanho da partícula interatuam, determinando o poder de neutralização do calcário que é expressado em equivalentes químicos de  $\text{CaCO}_3$ .

3. A necessidade da calagem dos solos tropicais segundo as suas características, a produtividade agrícola e o abastecimento de fertilizantes

As características dos solos tropicais úmidos e sub-úmidos que indicam a necessidade de uso da calagem são, principalmente, a pobreza de bases, a acidez elevada e a presença de óxidos amorfos e hidróxidos de alumínio e ferro.

Hardy (34), Jackson (42), Mohr e van Baren (61) e Sherman (74) caracterizam os solos tropicais úmidos e sub-úmidos de drenagem livre e não modificados recentemente pela ação aluvional ou vulcânica como latossolos lavados, pobres de bases, bastante ácidos e dotados de óxidos amorfos de alumínio e ferro.

A lixiviação e a pobreza de bases foram estudadas por Ayres (5) e Kanehiro e Chang (45), os quais demonstraram que a diminuição de cálcio e magnésio trocáveis e pH dependem da precipitação pluviométrica: tanto mais intensa a perda quanto maior a quantidade de chuvas.

A acidez elevada, representada por alumínio e hidrogênio trocáveis(23),

pode ser comprovada e compreendida através dos trabalhos de Popenoe (86) e Fox et al (30). Esses autores encontraram correlação direta entre alumínio trocável e pH e inversa entre esse cation e cálcio trocável.

A presença de óxidos amorfos e hidróxidos de alumínio e ferro tem sido considerada como a causa da imobilização de fósforo (30, 31, 39).

Decorrentes do estado de lixiviação intensa e alta acidez, outras características mencionadas pela literatura são a baixa mineralização de nitrogênio e fósforo orgânicos e a carência de molibdênio.

O aumento da mineralização de fósforo e nitrogênio orgânicos foi obtido por Swan (4) e Mikkelsen et al (58) ao praticarem a calagem em solos ácidos e com teores médios da matéria orgânica; provavelmente a diminuição de acidez proporcionou melhores condições à atividade dos microorganismos.

A deficiência de molibdênio, em solos da Austrália, foi constatada e controlada através da calagem por Anderson (3).

A produtividade agrícola, tomando como indicadores os rendimentos das culturas na região, é baixa (29, 68). Provas indiscutíveis de que as características químicas do solo, antes descritas, limitam a produtividade são os aumentos de rendimentos obtidos em experimentos de uso da calagem, executados em diferentes regiões com as culturas do algodão, arroz, batata doce, borracha, cana de açúcar, feijão, milho e sorgo (4, 7, 10, 48, 49, 58, 65).

Levando-se em conta que na maioria dos países tropicais a produção agrícola é superior à industrial e 40% ou mais de suas populações se dedicam à agricultura (29), conclui-se que a economia regional está baseada sobre a agricultura e que o uso adequado da calagem poderá vir a ser um

fator de desenvolvimento econômico por contribuir ao aumento da potencialidade do solo.

O baixo consumo de fertilizantes em relação à área cultivada (29), a baixa produção local de fertilizantes em relação ao consumo (29), o baixo preço do cálcio e magnésio nos materiais de calagem\* e o aumento da mineralização de nitrogênio e fósforo orgânicos, proporcionado pela diminuição da acidez do solo, indicam que a calagem pode melhorar as condições de abastecimento de fertilizantes.

#### 4. Necessidade de investigações sobre a calagem nos trópicos e objetivos deste trabalho

Sob o aspecto prático, a interpretação conjunta dos fatores da calagem é bem definida por Buckman e Brady (15) ao reunir todas as conclusões nas respostas às três perguntas:

- 1) há necessidade de calagem?
- 2) que tipo de calcário se deve usar?
- 3) que quantidade de calcário se deve aplicar?

As investigações realizadas em solos tropicais (1, 3, 4, 7, 30, 40, 48, 49, 58, 63, 65, 75) enfocam, no solo, a acidez, a quantidade de alumínio trocável, a fixação de fósforo, a mineralização de fósforo e nitrogênio orgânicos, o movimento de cálcio e magnésio no perfil e a disponibilidade de micronutrientes. Na planta, essas investigações em geral medem os efeitos sobre os rendimentos. Outros aspectos têm sido parcialmente

---

\* Comunicação por carta de William L. Pritchett, Tecnologista de solos, Universidade de Flórida, 8-3-1966.

estudados e pouco se encontra com referência aos efeitos dos fatores do calcário - quantidade e relação cálcio/magnésio - sobre o complexo de troca do solo e os teores de cálcio e magnésio absorvidos pela planta. Assim, conclui-se pela necessidade de informações básicas que possam esclarecer a reação do complexo de troca do solo sob a ação de diferentes quantidades e tipos de calcário e as respectivas implicações na nutrição mineral.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para investigar as questões propostas, conduziu-se um experimento em vasos com o horizonte A de um latosolo. Aplicaram-se doses crescentes de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  em diferentes proporções Ca/Mg. Forneceram-se ao solo tratado doses ideais de N, P, K, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo e B e realizaram-se duas culturas do tomate.

Para observar os efeitos dos carbonatos, fez-se a análise química de solo em diferentes épocas, observou-se o aspecto vegetativo do tomate, pesou-se a matéria seca da sua parte aérea e determinaram-se, também por análise química, as quantidades de cálcio, magnésio e potásio na matéria seca.

### 1. Desenho experimental

Todos os trabalhos experimentais foram conduzidos em invernadoiro. Constaram da execução de um ensaio fatorial 3 x 4 com quatro replicações e distribuição inteiramente ao azar.

Os fatores de variação considerados foram:

- a) a proporção cálcio/magnésio (em equivalentes químicos) dos materiais de calagem;
- b) a quantidade de carbonatos (em equivalentes químicos) dos materiais de calagem.

Como proporções cálcio/magnésio escolheram-se 1:1, 4:1 e 7:1. As quantidades de carbonatos, designadas por L0, L1, L2 e L3 referem-se a:

L0 - ausência de carbonatos, Ca e Mg aplicados como nutrientes em forma de nitratos para suprir 2,8 meq de  $\text{Ca}^{+2}$  +  $\text{Mg}^{+2}$  por 100 g de solo.

L1 - quantidade de carbonatos para suprir 12 meq de  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$  por 100 g de solo.

L2 - quantidade de carbonatos para suprir 24 meq de  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$  por 100 g de solo.

L3 - quantidade de carbonatos para suprir 36 meq de  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$  por 100 g de solo.

A escolha das diferentes proporções cálcio/magnésio baseou-se nas informações da literatura sôbre a proporção cálcio/magnésio do solo e a composição dos tipos de calcário existentes. Para a quantidade de carbonatos, determinou-se previamente acidez trocável e somou-se 8 meq (cêrca de 25% da capacidade de troca de cations); tomou-se o total como a dose suficiente para a neutralização completa, chamando-se de L3. L2 e L1 representam, respectivamente, 2/3 e 1/3 de L3.

## 2. Características do solo

O solo em estudo faz parte de um grupo de solos lateríticos da Região Oriental da Meseta Central de Costa Rica, classificados e mapeados por Dondoli e Torres (24).

Pertence à série Colorado e foi formado de material "mater" composto principalmente de andesita (24) sob a influência de um clima que atualmente, segundo Budowski e Schreuder (16), tem as seguintes características: temperatura média anual 22,6° centígrados, precipitação média anual 2580 milímetros, evaporação média anual 1345 milímetros, latitude 9°35' norte e altitude 602 metros.

Quanto aos outros fatores de formação, Hardy e Bazán (35) descrevem a vegetação local entre os tipos mata chuvosa, mata molhada e mata úmida, o

relêvo variando do tipo ondulado ao montanhoso e assinalam a importância do fator tempo, 10 a 15 milhões de anos, como determinante do estado de intemperização intensa.

O perfil da Série Colorado, na área denominada Campo Gamma, local onde foram colhidas amostras para esta investigação, tem as seguintes características (35):

- a) camada superficial ou "top soil" - 30 centímetros de profundidade, côr 5YR2/1\* quando úmido e 5YR2/2\* quando sêco, estrutura de agregados estáveis tipo grumo e textura limo-argilosa.
- b) subsolo - profundo, côr 5YR3/4\* úmido e 5YR4/4\* sêco, estrutura granular tendendo a cúbica ou colunar segundo a profundidade e presença de "cantos rodados" e pedras de andesita.

A fração mineralógica de amostras colhidas no Campo Gamma apresenta 4% de areia e 96% de limo mais argila. A fração areia está composta de magnetita, augita e hipersteno. Na porção limo-argilosa predominam os minerais caolinita, gibsita e óxido de ferro amorfo (êste 9%) (35).

As características químicas da camada superficial, de acôrdo com as determinações feitas no início dêste trabalho, são:

pH em H <sub>2</sub> O .....	4,5;
pH em KCl 1N .....	3,9;
acidez trocável .....	28,5 meq/100 g de solo;
capacidade de troca de cations .....	30,8 " " " " ;
cálcio trocável .....	0,48 " " " " ;
magnésio trocável .....	0,22 " " " " ;

---

\* De acôrdo com o sistema de Munsell.

potássio trocável ..... 0,02 meq/100 g de solo;  
índice de saturação ..... 2,3 %;  
matéria orgânica ..... 11,5 %.

No que se refere ao estado de fertilidade, um ensaio de campo com milho mostrou resposta acentuada à adição de fósforo, nitrogênio e potássio. Em ensaios de vasos com tomate e sorgo, verificaram-se os mesmos efeitos e também reação apreciável a Ca, Mg, Zn, Mo e B (36).

### 3. Materiais de calagem

Os materiais de calagem usados foram  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  precipitados. Ambos os carbonatos apresentam partículas de tamanho pequeno e pureza acima de 98%.

O  $\text{CaCO}_3$  e o  $\text{MgCO}_3$  foram as únicas fontes de suprimento de cálcio e magnésio nos tratamentos L1, L2 e L3. Para atender aos objetivos do plano experimental, prepararam-se três misturas desses carbonatos segundo as especificações:

mistura 1:1 - um equivalente de  $\text{CaCO}_3$  mais um equivalente de  $\text{MgCO}_3$ ;

mistura 4:1 - quatro equivalentes de  $\text{CaCO}_3$  mais um equivalente de  $\text{MgCO}_3$ ;

mistura 7:1 - sete equivalentes de  $\text{CaCO}_3$  mais um equivalente de  $\text{MgCO}_3$ .

### 4. Preparo dos potes

Uma quantidade de solo superficial (0-30 cm), ainda com certa umidade, foi peneirada em tamiz de 5 mm de abertura. Depois de alguns dias, concluída a secagem, foi homogeneizada por meio de mistura com pá.

Aos potes (cilíndricos, altura - 19,9 cm e diâmetro 15,5 cm), adicio-

nou-se inicialmente 480 g de grava de diorita (tamanho 5-10 mm) para facilitar a drenagem.

Em seguida, a quantidade de solo de cada pote (2.677 g) foi misturada com a respectiva dose de mistura de carbonato em misturador rotativo com cilindro em forma V.

Adicionado o solo no pote, tomou-se o terço superior (892 g) e incorporou-se  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  granulado também com misturador.

Por último, colocaram-se os potes dentro de bacias de drenagem e a essas juntou-se a solução nutritiva e água até a capacidade de campo para que fôsem absorvidas por capilaridade.

Considera-se aqui como solução nutritiva o conjunto de nutrientes fornecido em solução aquosa.

A escolha das substâncias e das doses de nutrientes foi fundamentada sobre a experiência de investigações anteriores (36).

Todos os tratamentos receberam N, P, K, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B e Mo. Os tratamentos IO, além desses nutrientes, levaram cálcio e magnésio sob a forma de nitratos.

Os detalhes da composição da solução nutritiva e aplicação de nutrientes estão reunidos no Quadro 1.

Os potes foram deixados em repouso por uma semana, realizando-se então o semeio a razão de 50 sementes em cada, aproximadamente.

QUADRO 1. Quantidade de nutrientes usados por pote e substâncias fontes.

Nutriente expressado como	Gramas/pote	Substância		
N	0,5000	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		
	0,2500	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>#</sup>	0,3000	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O		
	1,2000	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		
K <sub>2</sub> O	0,7500	KCl		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1000	Fe-citrato		
ZnO	0,0400	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O		
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0700	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O		
CuO	0,0075	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O		
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0075	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10H <sub>2</sub> O		
Mo <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0075	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O		
	1:1	4:1	7:1	
Ca <sup>+2</sup> <sup>###</sup>	1,40	2,24	2,45	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O
Mg <sup>+2</sup> <sup>###</sup>	1,40	0,56	0,35	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O

# O (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> foi aplicado em forma granular e ao terço superior do pote. Na segunda cultura apenas se colocou 0,6 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.

### O Ca e o Mg estão em meq/100 g de solo. Nos tratamentos LO, não se usou NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> e N dos nitratos somou 1,0 g por pote. Na segunda cultura se colocou Ca e Mg apenas para completar as quantidades iniciais.

##### 5. Cronograma de execução e observações

O tempo de duração do experimento foi de seis meses e quinze dias.

Durante êsse período, os principais trabalhos, iniciados em 2/10/1965,

obedeceram à seguinte ordem:

- 0 dia - incorporação de carbonatos e amostragem do solo.
- 7 dias - aplicação de fosfato, solução nutritiva e água.
- 15 " - amostragem do solo e semeio da primeira cultura.
- 27 " - desbaste para 30 plantas.
- 35 " - desbaste para 10 plantas.
- 69 " - colheita da primeira cultura.
- 75 " - amostragem, secamento e peneiração do solo.
- 80 " - preparo dos potes, sem adicionar carbonatos e nutrientes, água sómente até 50% da capacidade de campo.
- 128 " - aplicação de solução nutritiva e água até a capacidade de campo.
- 135 " - amostragem do solo e semeio da segunda cultura.
- 147 " - desbaste para 30 plantas.
- 161 " - desbaste para 10 plantas.
- 189 " - colheita da segunda cultura.
- 195 " - amostragem do solo.

Entre os 80 e 128 dias a unidade do solo foi mantida a 50% da capacidade de campo. Os trabalhos extras (aplicação de Zn, Mn, P e fungicida) serão relatados no capítulo de resultados.

Realizaram-se observações no solo e na cultura do tomate.

No solo, determinaram-se a solubilização de carbonatos, a acidez, as características químicas do complexo de troca e o teor de matéria orgânica em diferentes idades do experimento, conforme detalhes do Quadro 2.

QUADRO 2. Observações do solo. Determinações e idades do experimento em dias.

Determinações	Idade em dias				
	0	15	75	135	195
Carbonato residual	x	x	x	x	x
pH em H <sub>2</sub> O	x	x	x	x	x
pH em KCl 1N	x	x	x	x	x
Capacidade troca de cations		x	x	x	x
Ca, Mg e K trocáveis		x	x	x	x
Proporção Ca/Mg trocáveis		x	x	x	x
Índice de saturação		x	x	x	x
Matéria orgânica	x			x	x

As observações realizadas nas duas culturas do tomate foram as seguintes:

- a) aspecto vegetativo,
- b) peso de matéria seca,
- c) concentrações de Ca, Mg e K na parte aérea,
- d) totais de Ca, Mg e K na parte aérea e
- e) proporção Ca/Mg na parte aérea.

#### 6. Análises químicas do solo

Todas as análises foram realizadas em amostras médias das quatro replicações, previamente secas a 65° centígrados e peneiradas em tamiz de 1 mm.

### 6.1. pH

Tanto o pH em H<sub>2</sub>O como o pH em KCl 1N foram determinados em potenciômetro com eletrodo de vidro. Seguiram-se as indicações de Jackson (41): relação solo/água ou relação solo/solução KCl igual a 1:2,5 e tempos de equilíbrio de 30 minutos para pH em H<sub>2</sub>O e 60 minutos para pH em KCl.

### 6.2. Carbonato residual

Adotou-se o método de Allison e Moodie (2), baseado na medição do volume de CO<sub>2</sub> desprendido quando se faz reagir carbonato e um ácido.

Usou-se o calcímetro de Collins e solução ácida HCl 4N - FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O a 4,05%.

O aparelho foi aferido contra as misturas de carbonatos 1:1, 4:1 e 7:1. Em todas as determinações foram mantidas inalteradas:

- a amostra de solos - 10 gramas;
- a solução ácida - 25 mililitros;
- a temperatura - 24° centígrados;
- o tempo de reação - 24 minutos.

### 6.3. Bases trocáveis e capacidade de troca de cations

Com ligeiras modificações, empregaram-se os métodos recomendados por Jackson (41) para solos calcários, exceto a determinação de Mg no extrato.

#### 6.3.1. Extração de bases

Procedimento. Uma quantidade de solo com 0,5 a 1,0 meq de cations é pesado e colocada em "beacker" de 150 mililitros; juntam-se 50 ml de uma mistura de BaCl<sub>2</sub> 0,2N - Tri-etanol-amina (TEA) 0,2N pH 8,2 e deixam-se reagir por 30 minutos, agitando-se constantemente. Filtra-se a mistura em buchner, lava-se o resíduo com 100 ml de H<sub>2</sub>O destilada,

transfere-se o lixiviado para balão de 200 ml e enrasa-se.

### 6.3.2. Determinação de capacidade de troca de cations

Procedimento. O resíduo da extração de bases é lavado com 25 ml de  $\text{CaCl}_2$  1N - pH 7,0 cinco vezes; remove-se o excesso desse sal com cinco lavagens de 25 ml de  $\text{NaOAc}$  1N - pH 8,2 e retira-se o excesso desse sal com quatro lavagens de 20 ml de água. O lavado é transferido para balão de 250 ml e enrasado. A aliquotas de 25 ml juntam-se 10 ml de solução amortiguadora  $\text{NH}_4 \text{Cl}$  1N -  $\text{NH}_4\text{OH}$  1N 1:5 pH - 10,0, 1 ml de  $\text{NaCN}$  a 2% e 10 gotas de solução indicadora de Eriocromo Negro T a 0,5% (0,5 g de Eriocromo Negro T, 4,5 g de hidroxilamina e metanol para 100 ml). Titula-se contra solução de  $\text{EDTA}$  0,1N complexado com magnésio.

### 6.3.3. Determinação de cálcio trocável

Determinou-se cálcio trocável por titulação "redox" do extrato de bases.

Procedimento. Tomam-se 50 ml do extrato de bases em erlenmeyer de 300 ml. Juntam-se 30 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1N e uma gota de alaranjado de metilo; neutraliza-se com  $\text{NaOAc}$  a 20% até a cor rosa desaparecer; aquece-se a 70° centígrados e adicionam-se vagarosamente 4 ml de  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  a 5% duas vezes; digere-se por uma hora em banho maria, filtra-se e lava-se o resíduo com água quente. Dissolve-se o precipitado em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 1,0%, duas porções de 25 ml, aquece-se o lavado a 80-90° centígrados e titula-se contra  $\text{KMnO}_4$  0,025N.

### 6.3.4. Determinação de magnésio trocável

Usou-se o método colorimétrico de Mehlich (52) com padrão de  $\text{MgCO}_3$  (0,7786 g de  $\text{MgCO}_3$  42,6%, 20 ml de  $\text{HCl}$  1N e água para 1.000 ml) de

200 ppm de Mg para determinação de Mg no extrato de bases.

Procedimento. Do padrão de 200 ppm, prepara-se uma diluição de 20 ppm e deste, diluições com concentrações de 0 a 12 ppm para a curva "standard". Tomam-se aliquotas de 10 ml do extrato de bases (diluídas de 2 a 4 vezes) e das soluções padrões em "beaker" de 50 ml; adicionam-se 2 ml de solução amortiguadora (2 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 1 g de  $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ , 0,5 g de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 100 ml de TEA e água para 1 litro), 4 ml de reagente (0,15 g de Amarelo de Tiazol, 9,1 g de poliacrilato de sódio e água para 1 litro) e 4 ml de NaOH a 8%. Lê-se a transmitância em colorímetro a 540 milimicras. Os padrões devem ter a mesma concentração de solução extratora  $\text{BaCl}_2$  0,2N - TEA 0,2N.

#### 6.3.5. Procedimento para determinação de potássio trocável

Determinou-se potássio trocável por fotometria de chama a partir do extrato de bases.

Procedimento. Para calibrar o fotômetro de chama prepara-se solução padrão de 1.000 ppm de K. Desta, prepara-se outra de 100 ppm e por fim, uma de 10 ppm com solução amortiguadora na mesma proporção das amostras. Afere-se o fotômetro de leitura direta Perkin Elmer a uma tangente de 50 e lê-se a emissão de aliquotas das amostras.

#### 6.3.6. Formas de expressão dos resultados

As bases trocáveis e a capacidade de troca de cations foram calculadas em meq/100 de solo.

A relação  $\text{Ca/Mg}$  é o quociente da divisão Ca por Mg trocável.

O índice de saturação é a relação para 100 do total cálcio mais magnésio e mais potássio trocáveis sobre capacidade de troca de cations:

$$I = \frac{\text{soma de bases} \times 100}{\text{capacidade de troca de cations}}$$

#### 6.4. Matéria orgânica

Determinou-se pelo método de Wackley e Black apresentado por Saiz del Rio e Bornemisza (70).

Procedimento - Pesa-se 1 grama de solo e coloca-se em balão de 250 ml. Junta-se 20 ml de  $K_2Cr_2O_7$  1N e 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, agita-se por 1 minuto e após um repouso de 30 minutos enrasa-se; se ocorrer cor verde repete-se, pesando-se apenas 0,5 g de solo. Em erlenmeyer de 250 ml, toma-se uma alíquota de 25 ml; adicionam-se 3 ml de  $H_3PO_4$  a 85%, 5 gotas de difenilamina e titula-se, depois de seis horas, contra o sal de Mohr 0,1N valorado. A percentagem de matéria orgânica é calculada pela fórmula:

$$\% \text{ M.O.} = 0,67 (N \times \text{ml } K_2Cr_2O_7 - 10 \times N \times \text{ml sal de Mohr}).$$

Se a amostra pesar 0,5 g multiplicar o resultado por 2.

#### 7. Análises químicas da planta (Ca, Mg e K na parte aérea)

Como no caso do solo tomaram-se amostras médias. A parte aérea das quatro replicações foi seca a 65° centígrados, moída em semi-micro-moinho de Wiley, passando em peneira de 40 malhas por polegada quadrada.

As determinações de Ca, Mg e K foram realizadas em alíquotas ou diluições do extrato preparado a partir da digestão de 1 g matéria seca em mistura nitro-perclórica 5:1. O extrato foi preparado diluindo-se o resíduo da digestão para 100 ml.

##### 7.1. Determinação de cálcio

Usou-se o micro método da AOAC (33).

Procedimento - Tomam-se 10 ml do extrato da digestão em tubo de centrífuga de 15 ml; juntam-se duas gotas de vermelho de metilo a 0,5%, 1 ml de NaOAc a 50% e aquece-se por 5 minutos a 80° centígrados; ajusta-se o pH a uma cor laranja intensa com solução de NH<sub>4</sub>OH 1:4 ou HAcO 1:4 e agregam-se 2,5 ml de solução saturada de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. H<sub>2</sub>O; aquece-se outra vez por 15 minutos. Centrifuga-se a 2.000 rpm durante 10 minutos, decanta-se o supernatante e lava-se o precipitado com NH<sub>4</sub>OH 1:49. Repete-se a centrifugação, decantação e lavagem mais duas vezes. Por fim, juntam-se ao precipitado 2 ml de água e 0,5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e titula-se contra permanganato de potássio 0,025 N.

#### 7.2. Determinação de magnésio

Mesmo procedimento utilizado na análise de solos com exceção do padrão, preparado a partir de MgSO<sub>4</sub>. O extrato foi diluído 20 vezes.

#### 7.3. Determinação de potássio

Idêntico ao de solos. O extrato foi diluído 50 vezes.

#### 7.4. Formas de expressão dos resultados

Os resultados foram expressos em miliequivalentes por 100 gramas de matéria seca, nos casos de concentrações, e total de miliequivalentes na parte aérea das dez plantas, nos casos de totais.

Tanto em um caso como em outro, considerou-se a relação Ca/Mg já definida em solos.

### 8. Análises estadísticas

Usaram-se os métodos convencionais de análise da variância e da correlação (32). Para cálculo da regressão empregou-se o método dos quadrados mínimos e seguiram-se as indicações de Justensen (44).

## RESULTADOS

Os resultados das observações dos efeitos dos fatores estudados sobre o complexo de troca do solo e os teores de cations absorvidos pelo tomate são numerosos e envolvem várias características complementares.

Para uma melhor compreensão, essas características foram consideradas separadamente, obedecendo os assuntos à seguinte ordem: a acidez do solo, a solubilização das misturas de carbonatos no solo, a variação das características do complexo de troca do solo, o teor de matéria orgânica do solo, o desenvolvimento do tomate e a variação dos teores de cations absorvidos pelo tomate.

### 1. Acidez do solo

A acidez do solo representada pelo pH em H<sub>2</sub>O e o pH em KCl 1N (figuras 1 e 2) variou somente em função do fator quantidade de carbonatos e da época de amostragem. Em média, pH em H<sub>2</sub>O foi 0,4 unidade maior do que pH em KCl 1N.

Aos 15 e 135 dias, as variações de pH em H<sub>2</sub>O e pH em KCl 1N diferiram entre si. O pH em H<sub>2</sub>O dos tratamentos com carbonatos (L1, L2 e L3) diminuiu bruscamente nessas duas épocas. O pH em H<sub>2</sub>O dos tratamentos com nitratos (L0) aumentou aos 15 dias e diminuiu aos 135 dias. As variações do pH em KCl 1N foram: a diminuição de L2 e L3 aos 15 e 135 dias e o aumento de L0 aos 15 dias. Entre as épocas 75 e 195 dias houve pequenas diferenças.

Os valores de pH em H<sub>2</sub>O e pH em KCl 1N estão altamente correlacionados com um  $r=0,977$ , significativo a 1%, ver figura 5.

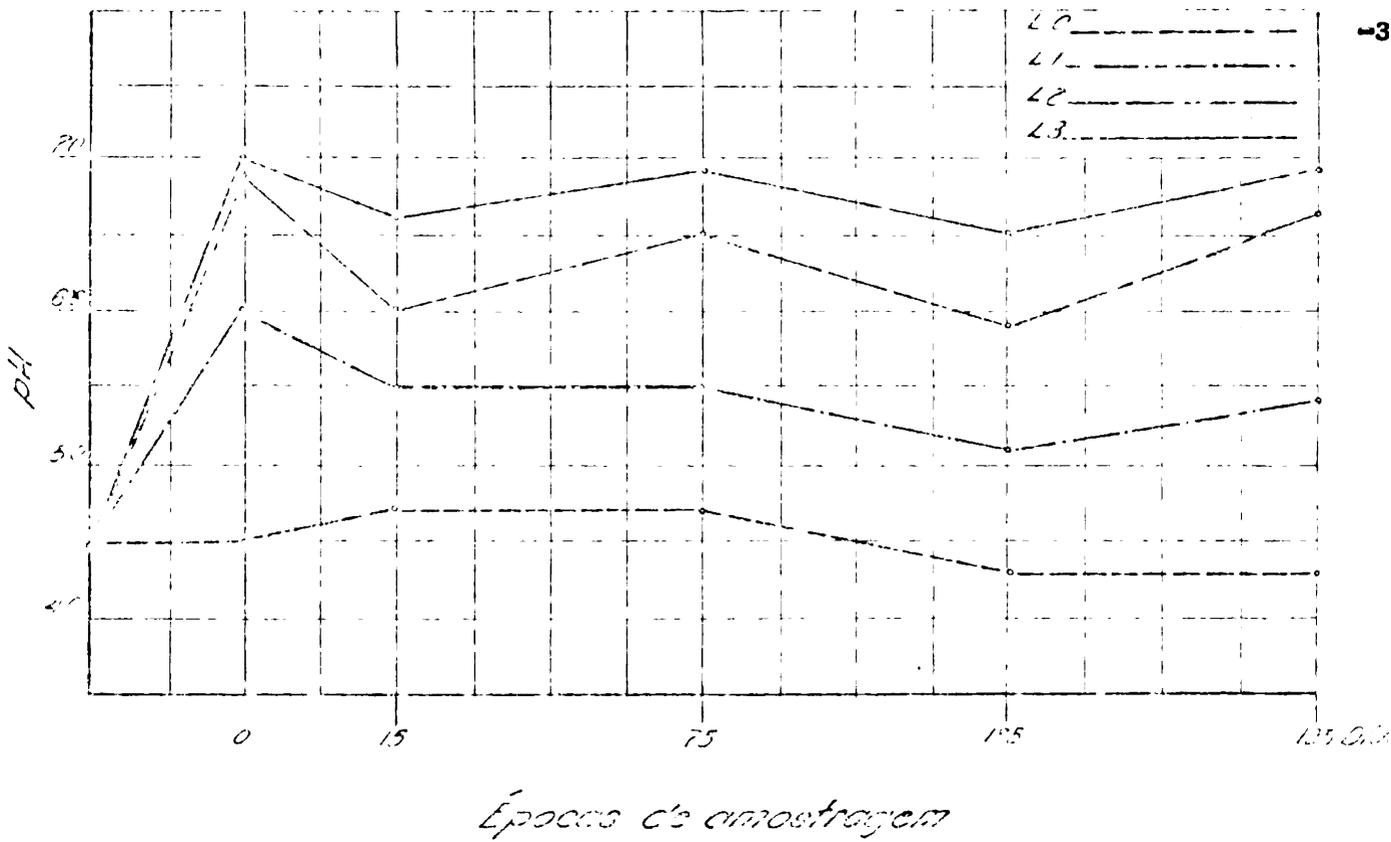


Figura 1. pH do solo em H<sub>2</sub>O. Variação segundo as épocas de amostragem e o fator quantidade de carbonatos.

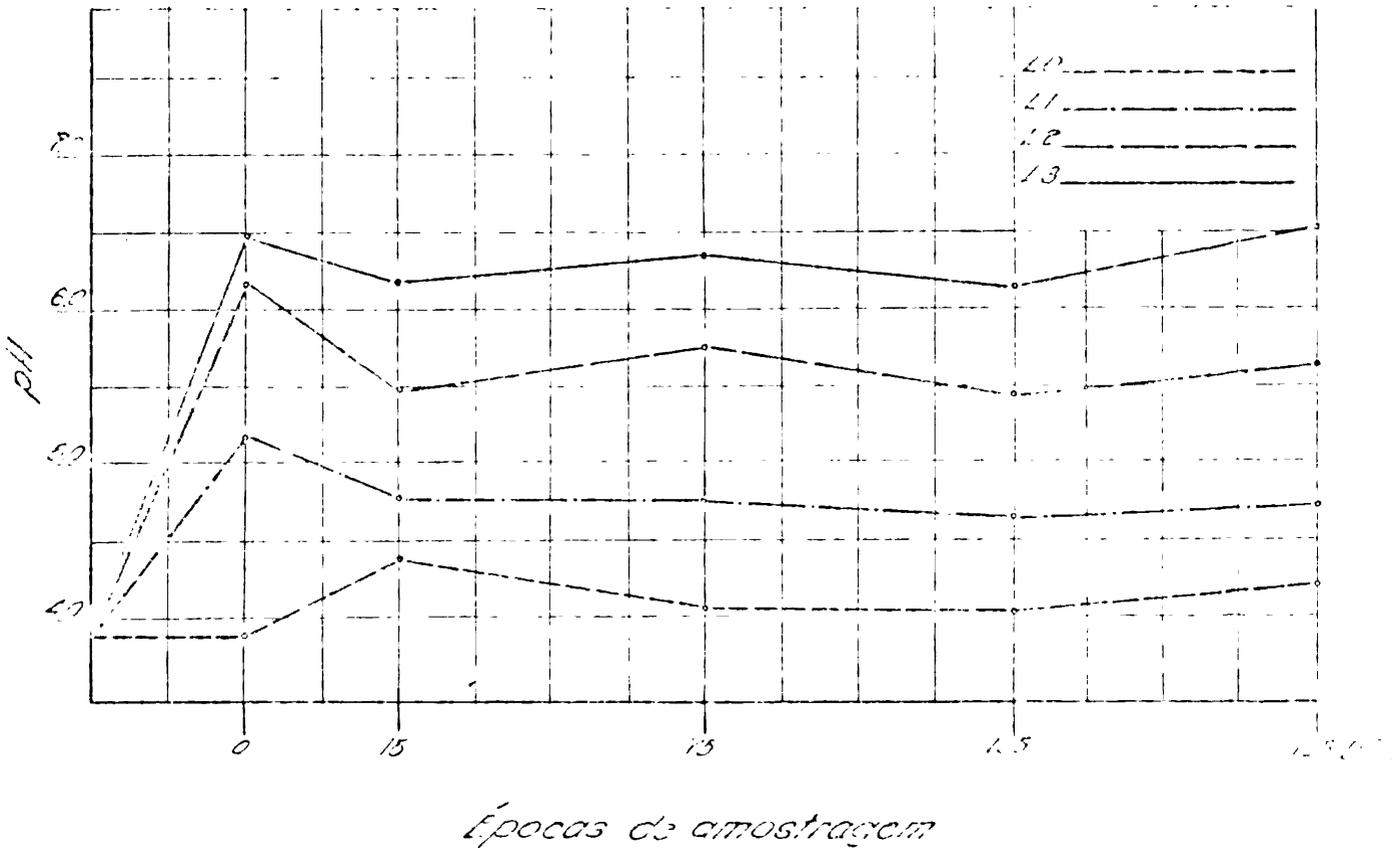


Figura 2. pH do solo em KCl 1N. Variação segundo as épocas de amostragem e o fator quantidade de carbonatos.

## 2. A solubilização das misturas de carbonatos no solo

A solubilização das misturas de carbonatos no solo foi interpretada à luz das percentagens de carbonato residual e do pH do solo.

Os dados de percentagens de carbonato residual no solo obtidos pela reação com HCl e os valores de pH mostram que a reação solo-carbonato alcançou o equilíbrio no período 75-135 dias. Aos 75 dias, de acordo com a figura 3, estavam solubilizados 77,7% dos carbonatos de L1, 80,4% de L2 e 82,8% de L3. Posteriormente, a quantidade de carbonato residual aumentou; aos 135 dias, esse aumento ocorreu nos tratamentos L1 e aos 195 dias, em L2 e L3. Os tratamentos L0, usados como testemunha, passaram então a produzir bastante CO<sub>2</sub> sob o ataque do HCl. Esse CO<sub>2</sub> produzido era tão alto como o CO<sub>2</sub> de L1; de 3 a 5 ml por 10 gramas de solo. Aos 195 dias, as percentagens de carbonatos solubilizados eram: L1 = 49,1%, L2 = 75,1% e L3 = 83,2%.

As percentagens de carbonato residual obtidas pelo processo de cálculo a partir de Ca e Mg trocáveis encontrados no complexo de troca, indicam menor quantidade de carbonatos solubilizados em todos os tratamentos e a estabilização da reação solo-carbonato aos 195 dias. Em nenhuma época se verificou aumento da quantidade de carbonato residual como no método de reação com HCl.

As diferenças de carbonatos solubilizados existentes entre o método de reação com HCl e o processo de cálculo a partir de Ca e Mg trocáveis aumentam de L1 para L3. Comparando os resultados dos dois tipos de determinações, essas diferenças aos 75 dias são: L1 = 10,9%, L2 = 21,3% e L3 = 31,4%.

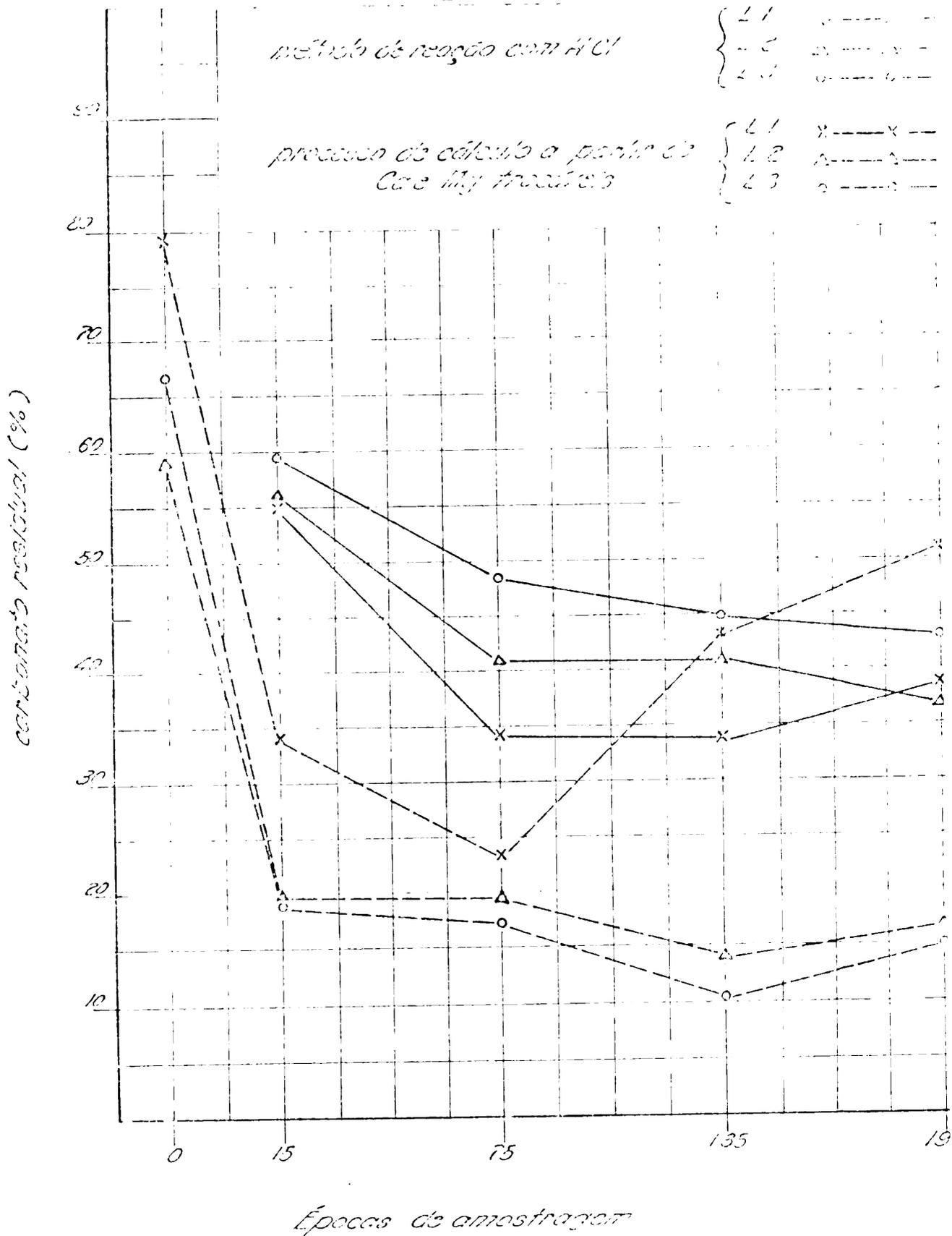


Figura 3. Carbonato residual no solo, determinado pelo método de reação com HCl e calculado a partir de Ca e Mg trocáveis. Variação segundo as épocas de amostragem e o fator quantidade de carbonatos.

### 3. A variação das características do complexo de troca

Todas as características do complexo de troca observadas sofreram modificações sob a ação dos fatores do experimento.

Os teores de Ca e Mg trocáveis do solo no início, 0,48 e 0,22 meq/100 g, subiram respectivamente a máximos de 17,8 e 9,0 (quadros 7 e 8). Os aumentos foram devidos à proporção Ca/Mg e à quantidade de carbonatos e variaram com o tempo. Os maiores aumentos ocorreram no período 0-15 dias. Aos 15 dias, os teores médios de Ca trocável em meq/100 g de solo eram: L0 = 2,3, L1 = 4,3, L2 = 8,9 e L3 = 12,2. Nessa mesma data, Mg trocável atingiu a: L0 = 0,8, L1 = 1,7, L2 = 2,3 e L3 = 3,0. Daí em diante, Ca e Mg trocáveis dos tratamentos com carbonatos aumentaram pouco a pouco até aos 135 dias, ao passo que Ca e Mg trocáveis dos tratamentos com nitratos diminuíram aos 75 dias e aumentaram aos 135. Aos 195 dias, todos os tratamentos tinham um pouco menos de Ca e Mg trocáveis.

Os aumentos de Ca e Mg trocáveis não foram proporcionais às quantidades adicionadas desses elementos sob as formas de nitratos e carbonatos. O quadro 9 mostra que a proporção Ca/Mg trocáveis do solo, nas primeiras épocas de amostragem, foi 30% maior do que a proporção Ca/Mg das misturas de carbonatos. Aos 15 dias, as proporções Ca/Mg trocáveis, médias das quatro quantidades (L0, L1, L2 e L3), eram: mistura 1:1 = 1,3, mistura 4:1 = 5,6 e mistura 7:1 = 9,1. À medida que passou o tempo, todas as proporções diminuíram, e aos 195 dias, seus valores eram: mistura 1:1 = 0,7, mistura 4:1 = 3,6 e mistura 7:1 = 7,2.

Os teores de potássio trocável diferiram segundo a quantidade de

carbonatos e a época de amostragem (quadro 10). Aos 15 dias, o potássio trocável oscilou entre 0,16 e 0,37 meq/100 g de solo. Aos 75 dias, os teores foram reduzidos quasi na totalidade a zero. Aos 135 dias, os teores voltaram a diferir segundo a quantidade de carbonatos, medindo: LO = 0,26, L1 = 0,26, L2 = 0,40 e L3 = 0,78 meq/100 g de solo. Aos 195 dias, L1, L2 e L3 sofreram uma redução média de aproximadamente 0,3 meq/100 g de solo.

A capacidade de troca de cations (quadro 11) variou principalmente em função da quantidade de carbonatos. Em relação ao solo "in natura", os aumentos foram grandes; L3, por exemplo, aos 195 dias é 25% maior. A variação entre as épocas de amostragem foi pequena. Aos 195 dias, os valores médios de capacidade de troca de cations em meq/100 g de solo eram: LO = 30,4, L1 = 31,8, L2 = 34,2 e L3 = 38,3. Há uma correlação elevada ( $r = 0,965$ ) e significativa a 1% entre os valores de capacidade de troca de cations e o pH em KCl 1N, figura 7.

O índice de saturação (quadro 12) aumentou devido à quantidade de carbonatos e com o tempo. O tratamento de nitrato (LO) causou um pequeno aumento, 7%, o qual regrediu aos 75 e 195 dias. Quanto aos tratamentos de carbonatos (L1, L2 e L3) os aumentos são grandes. Aos 15 dias, os valores médios do índice de saturação eram: L1 = 19%, L2 = 33% e L3 = 43%. A partir daí, êsses valores cresceram até aos 135 dias, chegando respectivamente a máximos de 22, 41 e 55%. Aos 195 dias, diminuiram, ficando quase iguais aos de 15 dias.

A variação do índice de saturação está ilustrada pelo estudo da regressão que se apresenta na figura 4. Aos 15 dias, a variação em função das quantidades de carbonatos é uma curva do segundo grau. Aos

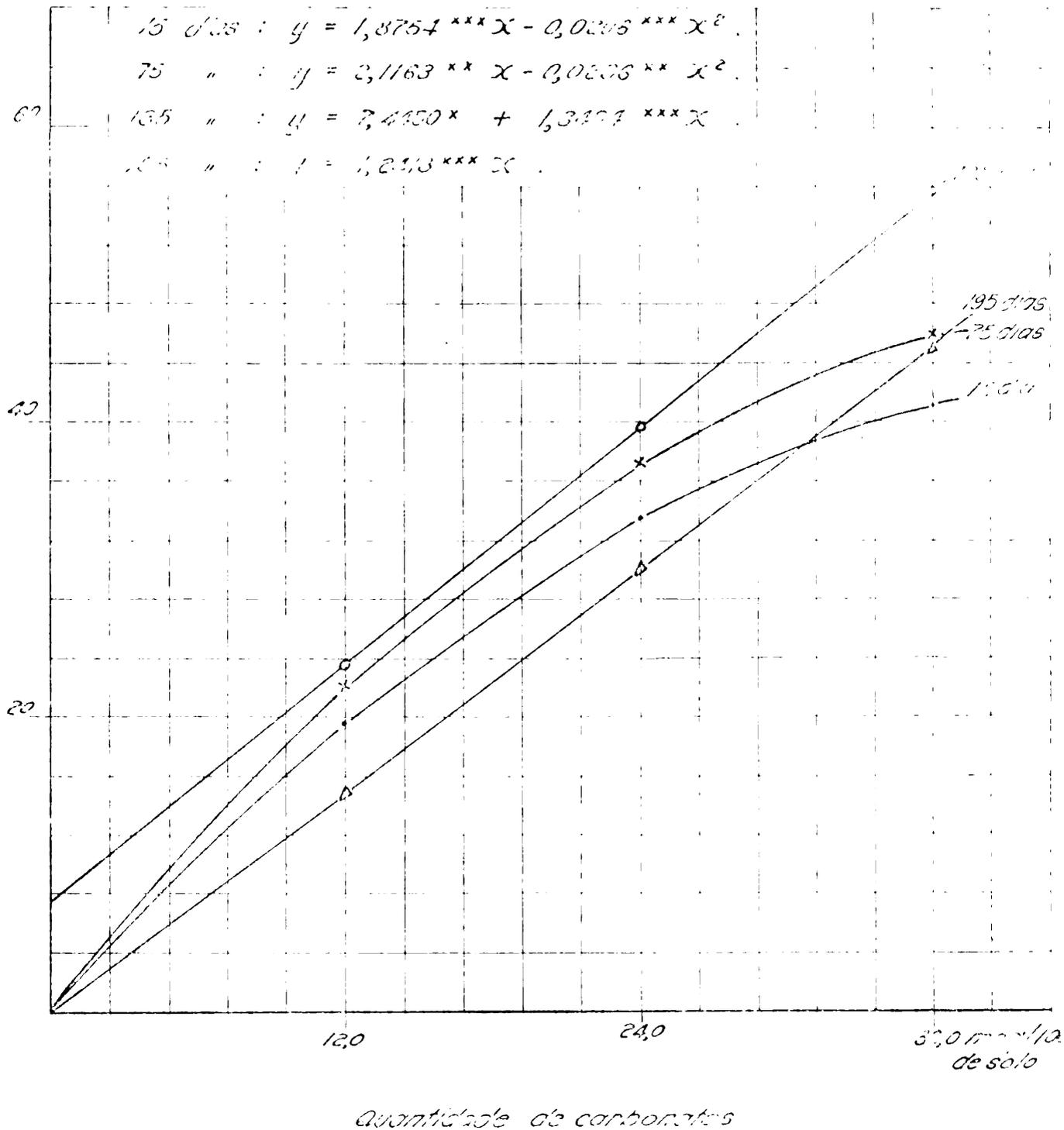


Figura 4. Índice de saturação. Equações de regressão das diversas épocas de amostragem.

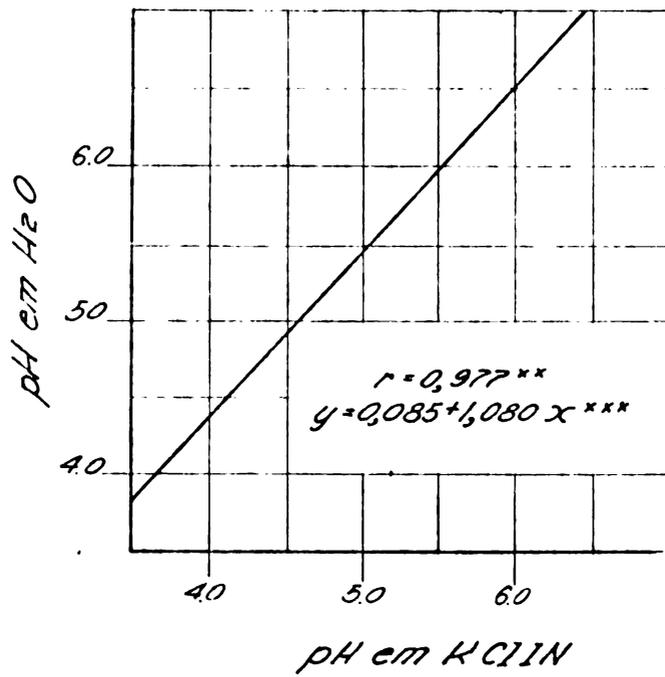


Figura 5. Correlação entre o pH do solo em H<sub>2</sub>O e o pH do solo em KCl 1N.

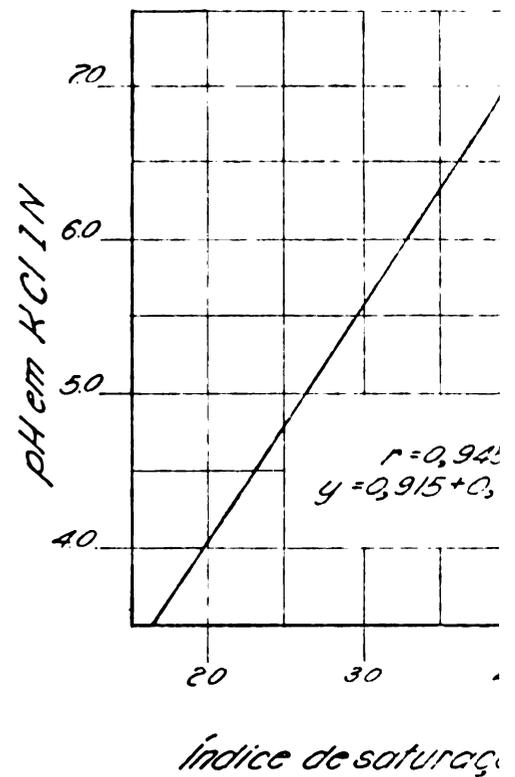


Figura 6. Correlação entre o pH KCl 1N e o índice de saturação.

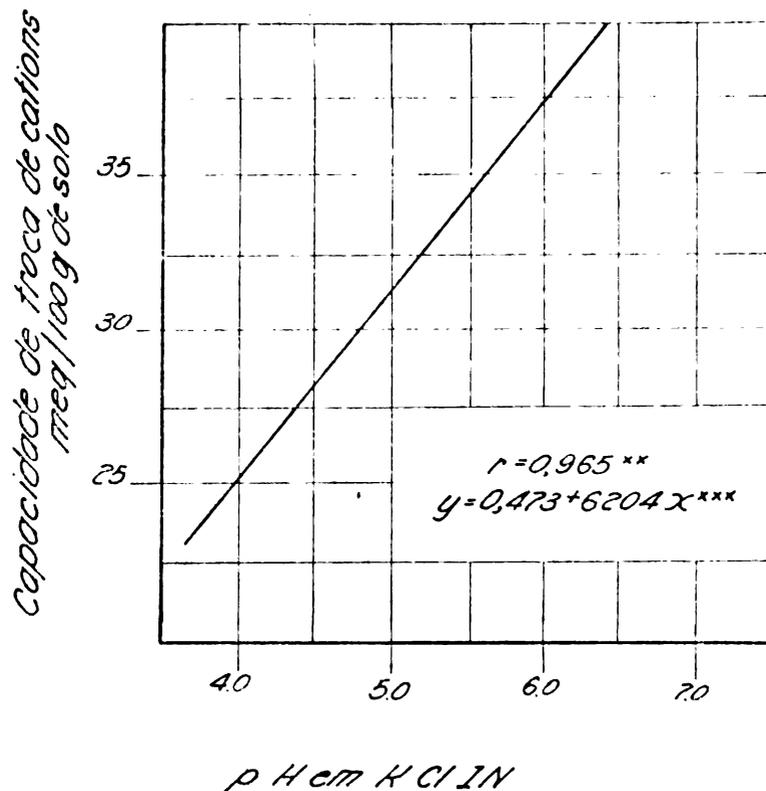


Figura 7. Correlação entre a capacidade de troca de cations do solo e o índice de saturação.

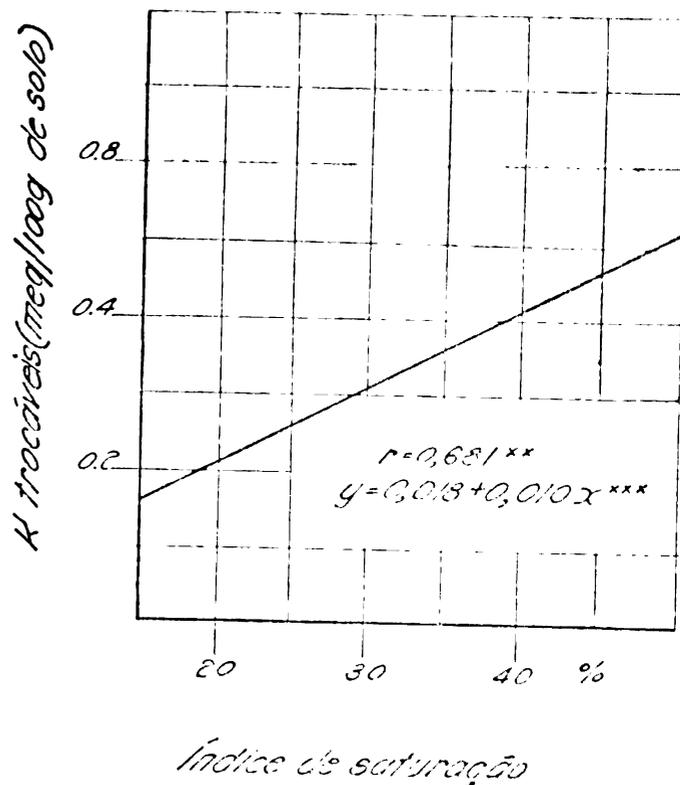


Figura 8. Correlação entre o teor de potássio trocável do solo e o índice de saturação.

75 dias, essa curva é menos fechada. Aos 135 dias, passa a ser uma reta e aos 195 dias, a equação da reta perde a constante, partindo da origem portanto.

A correlação dos valores do índice de saturação com os de pH em KCl 1N (figura 6), tem um coeficiente  $r = 0,945$ , significativo a 1%. Já a correlação do índice de saturação com potássio trocável (figura 8) é mais baixa ( $r = 0,681$ ), mas é também significativa a 1%.

#### 4. O teor de matéria orgânica do solo

Os teores de matéria orgânica no solo (quadro 15) foram determinados em todos os tratamentos apenas aos 135 e 195 dias. Comparando-os com o teor do solo ao início (11,5%), nota-se, em função do tempo, uma diminuição de 0,1% e 2,1%, respectivamente aos 135 e 195 dias. Houve pequenas variações causadas pelo fator quantidade de carbonatos cujos tratamentos aos 135 dias eram: L0 = 11,7%, L1 = 11,4%, L2 = 11,2% e L3 = 11,2%. Aos 195 dias, êsses valores baixaram para: L0 = 9,4%, L1 = 9,3%, L2 = 9,3% e L3 = 9,0%.

#### 5. O desenvolvimento do tomate

Todos os resultados apresentados referem-se à parte aérea. Observou-se o aspecto vegetativo, os sintomas de deficiências nutritivas e registrou-se o pêsso da matéria sêca das dez plantas deixadas em cada pote.

A primeira cultura sofreu somente influência do fator quantidade de carbonatos. Aos dez dias depois da germinação as melhores plantas eram as de L1 e L0; as de L2 e L3 estavam subdesenvolvidas e com

sintomas de deficiência de Zn e Mn, comprovados por testes de infiltração foliar. Essas deficiências foram controladas pela adição de meia dose de ZnOe de MnO<sub>2</sub>, de acordo com o sub-capítulo preparo dos potes, quadro 2.

O peso da matéria seca da parte aérea da primeira cultura (quadro 16) refletiu as observações do aspecto vegetativo, figuras 9, 10 e 11, tendo-se registrado as seguintes produções médias em gramas por pote: L1 = 27,2, L2 = 18,9, L0 = 17,6 e L3 = 15,2. Do ponto de vista estatístico (quadro 17) há diferenças significativas entre nitratos e carbonatos; L1 é superior a todos os demais tratamentos, entre os quais apenas o contraste L2 - L3 é significativo. A regressão da produção de matéria seca (y) em função da quantidade de carbonatos (x) que se ilustra na figura 15 (somente L1, L2 e L3) é significativa e está representada pela equação  $y = 32,509 - 0,5042x$ , a qual mostra em efeito linear decrescente desse fator.

A segunda cultura apresenta efeitos da proporção Ca/Mg e da quantidade de carbonatos. Aos dois dias depois da germinação, várias plantas dos tratamentos L0 e L1 apareceram com estiolamento cujo agente patógeno foi identificado como Fusarium sp.\*. Essa enfermidade parece ter sido controlada pela remoção das plantas atacadas e pela aplicação de Zineb a 0.4% em três pulverizações espaçadas em seis dias. Aos nove dias depois da germinação as plantas de L2 e L3 estavam mais crescidas e havia uma deficiência geral de fósforo, que era tanto mais intensa quanto menor a quantidade de carbonatos adicionada. Essa deficiência

---

\* Colaboração do Eng. Agr. Hermínio Maia, estudante graduado do IICA, Turrialba, março de 1966.



Figura 9.

Aspecto vegetativo da primeira cultura. Efeitos das quantidades de carbonatos nos tratamentos de proporção 1:1.



Figura 10.

Aspecto vegetativo da primeira cultura. Efeitos das quantidades de carbonatos nos tratamentos de proporção 4:1.



Figura 11.

Aspecto vegetativo da primeira cultura. Efeitos das quantidades de carbonatos nos tratamentos de proporção 7:1.

desapareceu duas semanas depois da aplicação de 0,3 g de  $P_2O_5$  (por pote) sob a forma de  $Na_2HPO_4$  em solução aquosa, mas as diferenças de desenvolvimento permaneceram até a colheita, figuras 12, 13 e 14.

Os pesos de matéria seca da parte aérea da segunda cultura (quadro 16) mostram variações causadas pela proporção Ca/Mg e pela quantidade total de carbonatos. Os pesos médios das proporções são: mistura 1:1 = 24,5, mistura 4:1 = 27,6 e mistura 7:1 = 27,1. Os pesos médios das quantidades de carbonatos são: L0 = 9,6, L1 = 20,7, L2 = 32,8 e L3 = 38,3. Segundo a análise da variância (quadro 17) a proporção 4:1 não difere de 7:1, mas ambas são significativamente superiores à proporção 1:1; entre as quantidades de carbonatos, qualquer que seja o contraste considerado, a diferença é altamente significativa. A regressão do peso de matéria seca (y) em função de L1, L2 e L3 (x), representada na figura 15, é significativa e tem a forma de uma hipérbole cuja equação é  $y = 2,0107x - 0,0264x^2$ .

#### 6. A variação dos teores de cations absorvidos pelo tomate

Os teores de cations absorvidos pelo tomate foram determinados em concentrações e em quantidades totais existentes na matéria seca da parte aérea das dez plantas colhidas por pote.

Houve grandes variações causadas pelos fatores do experimento. Essas variações foram diferentes nas duas culturas.

As concentrações e os totais de Ca da segunda cultura foram superiores aos da primeira (quadros 18 e 19). Em ambas as culturas, aumentaram à medida que cresce o fator proporção Ca/Mg das misturas de carbonatos, mas variaram diferentemente em função do fator quantidade total



**Figura 12.**

**Aspecto vegetativo da segunda cultura. Efeitos das quantidades de carbonatos nos tratamentos de proporção 1:1.**



**Figura 13.**

**Aspecto vegetativo da segunda cultura. Efeitos das quantidades de carbonatos nos tratamentos de proporção 4:1.**



**Figura 14.**

**Aspecto vegetativo da segunda cultura. Efeitos das quantidades de carbonatos nos tratamentos de proporção 7:1.**

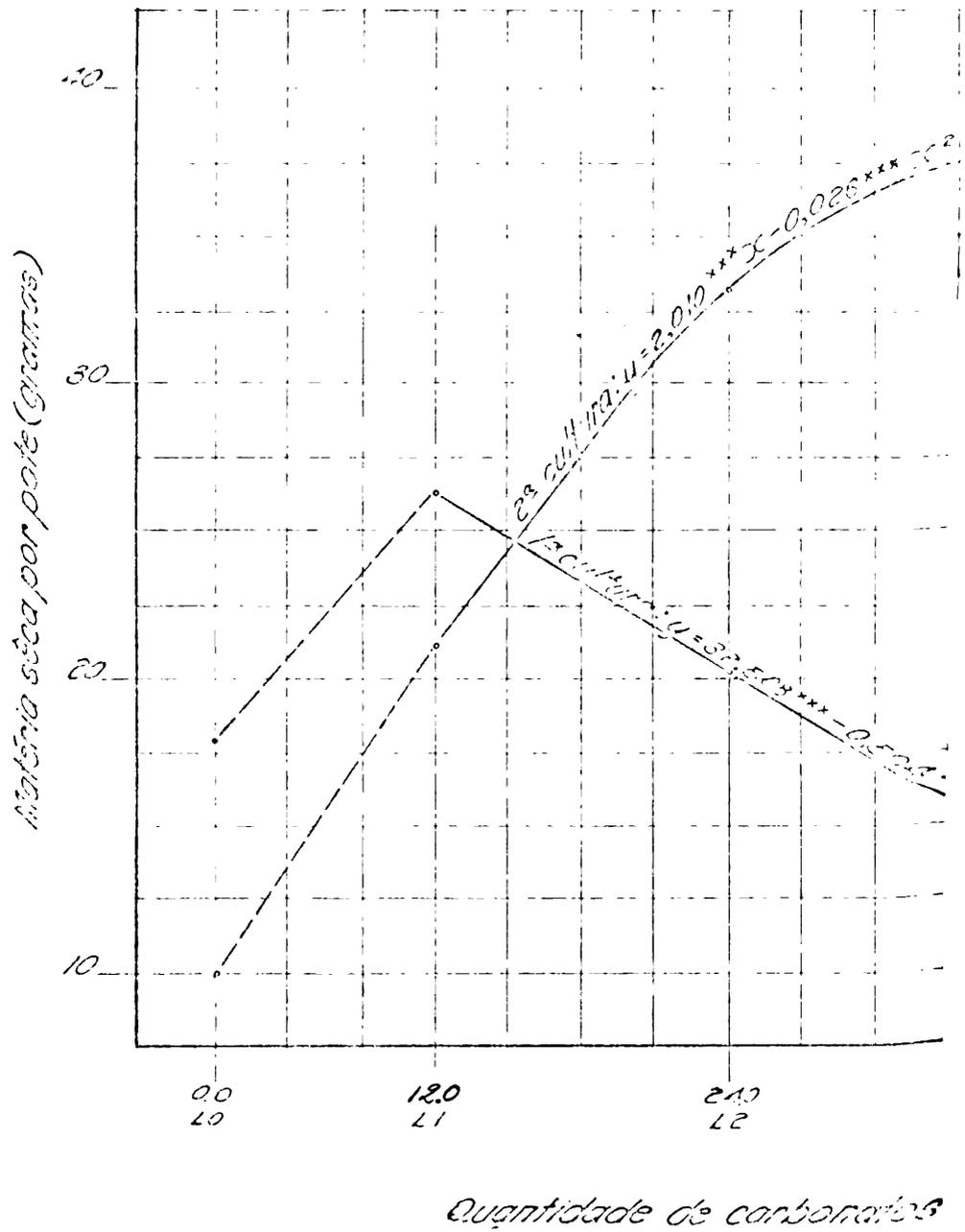


Figura 15. Regressão da produção de matéria seca das do fator quantidade de carbonatos.

de carbonatos. As concentrações na primeira cultura aumentaram do seguinte modo: L0 = 51, L1 = 74, L2 = 101 e L3 = 103 meq/100 g de matéria seca. Na segunda cultura ocorreu o inverso: L0 = 110, L1 = 103, L2 = 97 e L3 = 93 meq/100 g de matéria seca. A variação dos totais com referência às quantidades de carbonatos ocorreu apenas entre L0 (9,0 meq) e L1 (19,9 meq) na primeira cultura e entre todas as quantidades, na segunda cultura, cujos valores são: L0 = 10,6, L1 = 21,5, L2 = 32,3 e L3 = 33,0 meq.

As percentagens e os totais de Mg das duas culturas (quadro 20 e 21), cresceram segundo os fatores do experimento proporcionaram maior quantidade desse elemento. Com respeito ao fator quantidade total de carbonatos, as concentrações aumentam de 53 (L0) a 103 (L3) meq/100 g de matéria seca na primeira cultura e de 72 (L0) a 84 (L3) meq/100 g de matéria seca na segunda. Os totais aumentam de 9,0 (L0) a 22,9 meq (L1) na primeira cultura e de 6,9 (L0) a 31,8 meq (L3) na segunda.

A proporção Ca/Mg existente na parte aérea não foi a mesma nas duas culturas (quadro 24). Na primeira variou entre os extremos 0,49 e 1,79. Na segunda, variou entre 0,55 e 2,42. Notaram-se nas duas culturas aumentos progressivos em função do fator proporção Ca/Mg das misturas de carbonatos. O fator quantidade de carbonatos pouco influenciou.

As concentrações e os totais de K, nas duas culturas, não mostraram efeitos da proporção Ca/Mg das misturas de carbonatos. Quanto ao fator quantidade de carbonatos (quadro 22), registraram-se maiores concentrações nos tratamentos L0 de ambas as culturas, sendo que em L1, L2 e L3 aumentaram progressivamente na primeira e diminuíram na segunda. Os totais na primeira cultura (quadro 23) pouco diferiram da média geral

13,9 meq; na segunda cultura, LO tem 9,0 meq e L1, L2 e L3, aproximadamente 14,5 meq.

A relação entre os teores de Ca, Mg e K trocáveis do solo e os teores desses cations na planta foi determinada pela análise da correlação, (quadro 25). Dentre os pares de características correlacionadas foram significativos os seguintes:

Ca trocável no solo x total de Ca na parte aérea (figura 16)  
Mg " " " x concentração de Mg na parte aérea (quadro 25);  
Mg " " " x total de Mg na parte aérea (figura 17);  
Ca/Mg trocáveis do solo x Ca/Mg na parte aérea (figura 18)

A relação entre o desenvolvimento da planta e o índice de saturação do solo e entre o desenvolvimento da planta e os teores de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea foram determinadas também por análise de correlação (quadro 26). Entre essas, são significativos os seguintes pares de características:

Matéria seca x índice de saturação do solo (figura 19);  
" " x total de Ca na parte aérea (figura 20);  
" " x concentração de K na parte aérea (quadro 26).

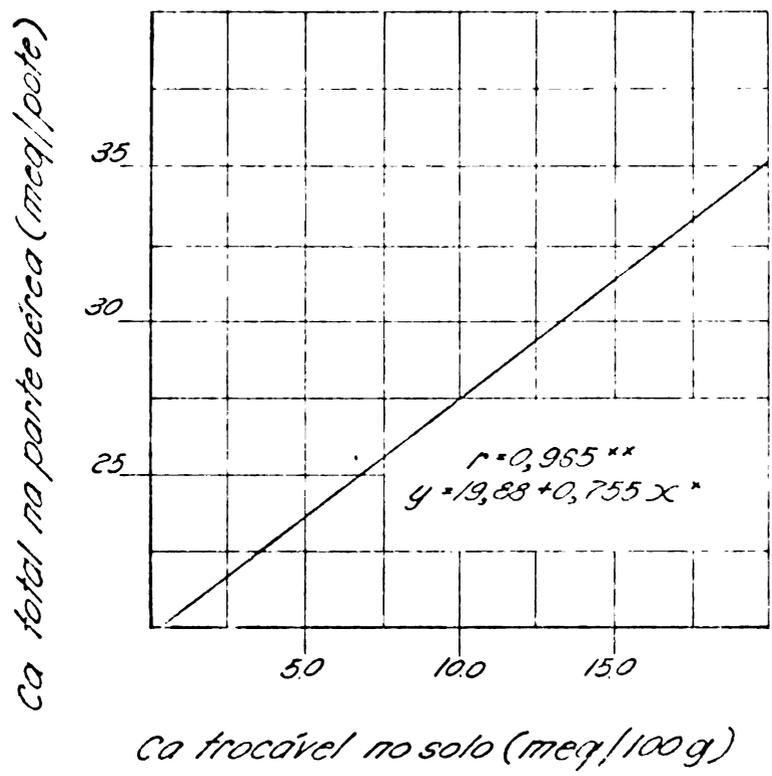


Figura 16. Correlação entre Ca total na parte aérea do tomate e Ca trocável no solo.

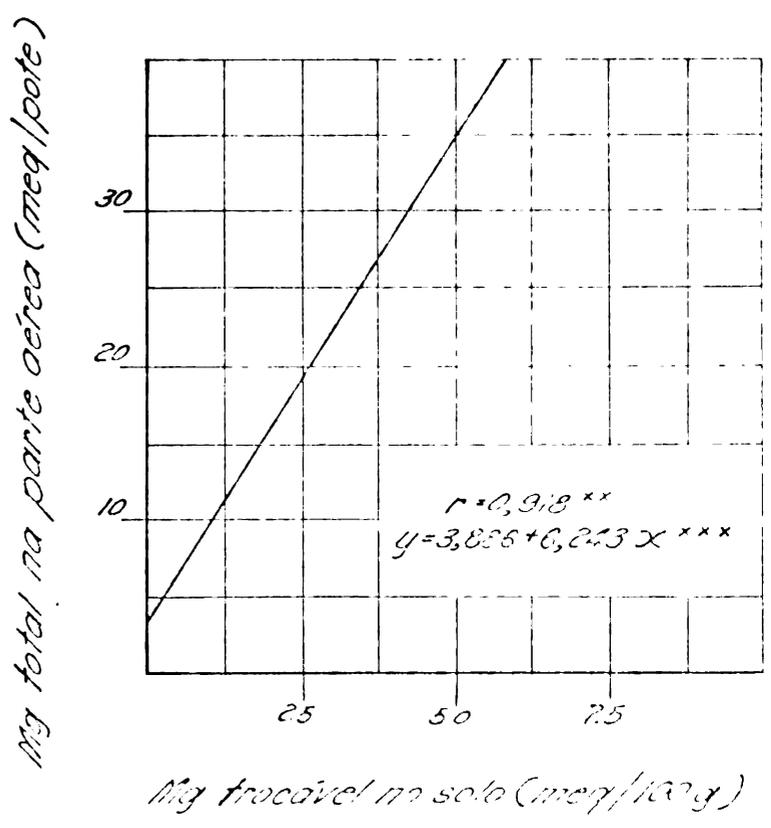


Figura 17. Correlação entre Mg total na parte aérea do tomate e Mg trocável no solo.

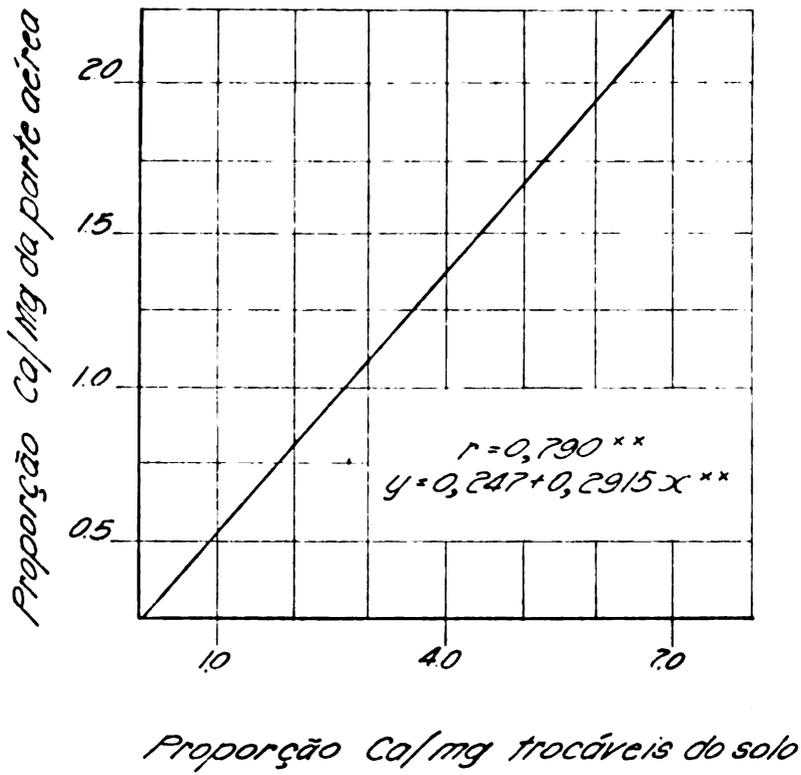


Figura 18, Correlação entre a proporção Ca/Mg da parte aérea do tomate e a proporção Ca/Mg trocáveis do solo.

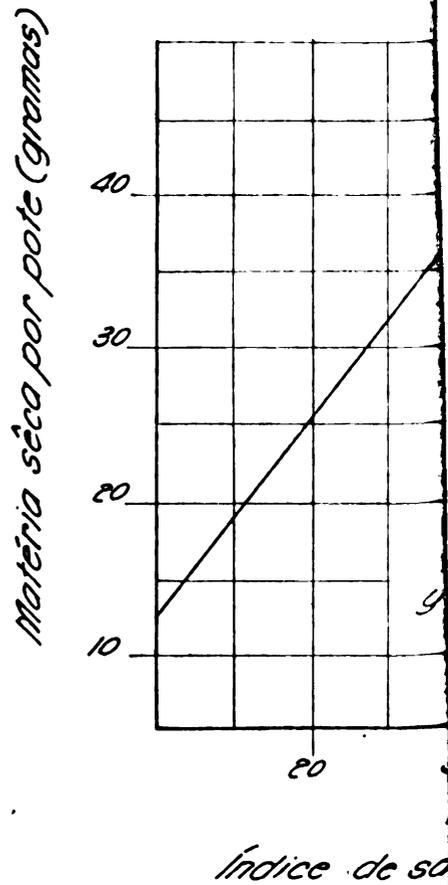


Figura 19, Correlação entre a seca da segunda cultura e a saturação do solo.

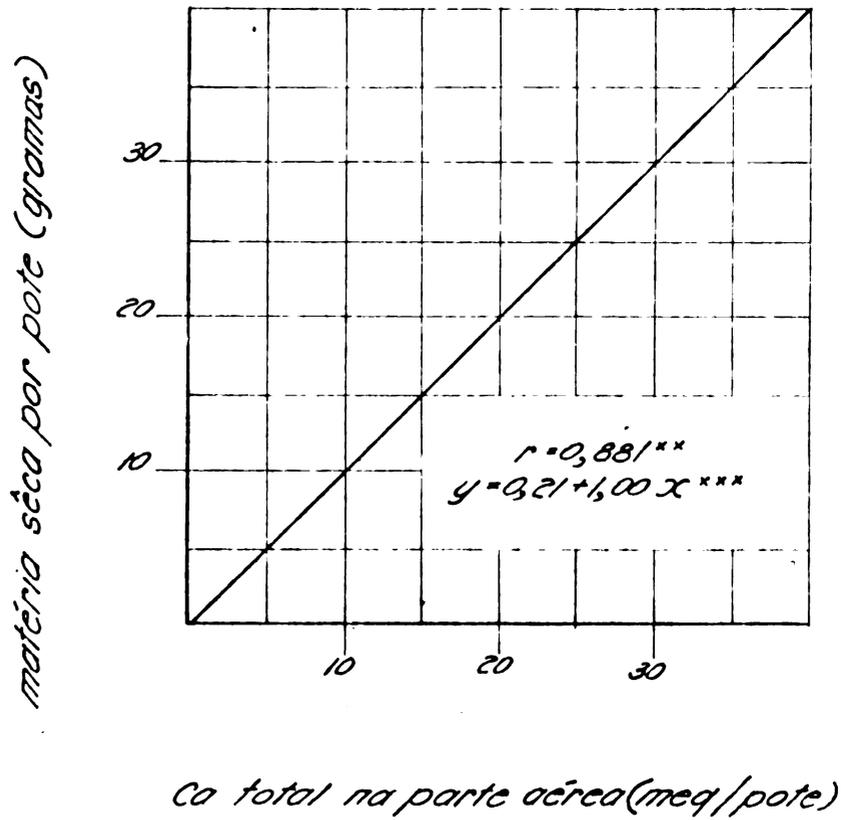


Figura 20. Correlação entre a produção de matéria seca e Ca total na parte aérea.

## DISCUSSÃO

O solo com que se trabalhou, por suas características pedológicas, mineralógicas e químicas, principalmente a extrema pobreza de bases e a elevada acidez, constitui um tipo ideal para as investigações de calagem.

A planta indicadora escolhida, o tomate, é uma cultura que se adaptando a estados de acidez entre pH 5,5 e 7,0 (13), absorvendo pouco Ca e Mg (47) e tendo uma capacidade de troca de cations nas raízes de 34 meq/100 g de matéria sêca (26), não parece se beneficiar tanto da calagem como outras tais como alfafa e a soja. Não obstante, essa planta foi seccionada por crescer bem nas condições de Turrialba e ser sensível às deficiências de nutrientes.

Os materiais de calagem usados são produtos sintéticos. A sua equivalência com o calcário dolomítico natural se verifica apenas sob o aspecto de quantidades totais de Ca e Mg.

Usou-se o método volumétrico de medição de  $\text{CO}_2$ , formado pelo ataque do HCl, para a determinação de carbonato residual, por serem pequenas as quantidades de carbonatos que se incorporaram ao solo (de 0,5 a 1,8% (2)).

Realizou-se a extração de bases com a solução  $\text{BaCl}_2 \cdot 0,2\text{N}$ -TEA 0,2N pH 8,2 em vez de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7,0 para evitar erros na determinação de Ca e Mg trocáveis, decorrentes da solubilização dos carbonatos em forma residual, conforme demonstrou Mehlich (51) no caso de extração com acetato.

Preferiu-se determinar Mg do extrato de bases pelo método colorimétrico de Mehlich (52), porque sendo pequenas as quantidades desse elemento, a lenta viragem do Eriocromo Negro T na titulação com o Versenato causaria grandes erros.

Os valores de acidez do solo, expressos sob a forma de pH, não foram transformados em concentrações de ions de hidrogênio para efeito de cálculos; empregaram-se diretamente os valores de pH. De acôrdo com Shiue e Chin (76), não há diferenças significativas entre uma e outra forma se as variações de pH não são muito grandes dentro da escala, sendo correto o procedimento adotado.

A falta de efeitos do fator proporção Ca/Mg sôbre o pH (quadros 3 e 4), embora haja indicações de diferença na solubilização do  $\text{CaCO}_3$  e do  $\text{MgCO}_3$ , deveu-se à compensação da quantidade de  $\text{MgCO}_3$  não solubilizada por uma correspondente quantidade de  $\text{CaCO}_3$  solubilizada, de tal forma que o total de carbonatos solubilizados não se modificou.

As figuras 1 e 2 mostram bem os aumentos progressivos do pH causados pelo fator quantidade de carbonatos nas diferentes épocas. Nota-se facilmente que para alcançar a neutralidade foi necessária uma dose de carbonatos maior do que a equivalente à acidez de troca determinada a pH 8,2 (41). Provavelmente, o rápido tempo de reação do solo com as substâncias empregadas para extrair bases e medir a capacidade de troca de cations não foi suficiente para permitir a ionização total dos grupos ácidos fracos do complexo (30), motivando uma sub-estimação da acidez trocável. Quanto às variações irregulares de pH aos 15 e 135 dias, aumentos dos tratamentos I0 e diminuições de I1, I2 e I3, talvez sejam devidas aos valores de pH das soluções nutritivas, os quais eram 6,6 e 2,6, respectivamente.

Apesar do pH do solo em  $\text{H}_2\text{O}$  ter sido diferente do pH em KCl 1N, o elevado coeficiente de correlação entre um e outro processo de análise (figura 5) permite o uso indistinto dos valores de pH em  $\text{H}_2\text{O}$  e pH em

KCl 1N para indicar o estado de acidez.

A pureza e o tamanho da partícula dos carbonatos possibilitaram uma rápida reação dos materiais de calagem usados, conforme se deduz das linhas de variação do pH (figuras 1 e 2). Na época em que se verificou o equilíbrio da reação solo-carbonato, aos 75 dias, a quantidade média de carbonatos solubilizados, mais ou menos 20%, era grande, figura 3. O aumento anormal de carbonato residual que se apresentou, não parece ter sido um retrocesso do sentido da reação, já que o pH não se elevou e nem foi tão alto para permitir a precipitação de carbonatos. As ótimas condições de aeração do solo nos potes tampouco permitiria uma pressão elevada de CO<sub>2</sub> para tal. Esse aumento aparente de carbonato residual, segundo os autores do método (2), pode ter sido causado por CO<sub>2</sub> formado da descarboxilização de um composto orgânico. Note-se que houve decomposição de matéria orgânica no solo depois dos 135 dias (quadro 15).

Embora os teores de Ca e Mg trocáveis tenham subido bastante por influência das misturas de carbonatos (quadros 6 e 7) os aumentos não corresponderam às quantidades solubilizadas. Observe-se (figura 3) que aos 75 dias, além dos 20% de carbonatos sob a forma residual, havia outros 20% cuja natureza não se conhece. Segundo as reações de solubilização do calcário apresentadas por Seatz (72), essa fração estaria como bicarbonato solúvel, o qual ao se adicionar a solução extratora de bases (BaCl<sub>2</sub> 0,2N - TEA 0,2N pH 8,2) precipitaria como carbonato por se elevar o pH, não aparecendo no extrato. De acordo com Mitchell et al (60), Ca e Mg podem ter sido adsorvidos pelos materiais amorfos em uma forma não extraível pelo sal de Ba.

Não houve também correspondência entre as proporções Ca/Mg trocáveis

do solo e as proporções Ca/Mg das misturas de carbonatos na primeira metade do experimento (quadro 9). É possível que os maiores valores das proporções Ca/Mg do solo nesse período, 30% a mais dos valores das proporções dos materiais de calagem, tenham sido devidos à maior capacidade de solubilização do  $\text{CaCO}_3$  em comparação ao  $\text{MgCO}_3$  (37).

A não resposta da capacidade de troca de cations ao fator proporção Ca/Mg se deveu à mesma razão apresentada para explicar a falta de variação do pH. O aumento da capacidade de troca de cations provocado pelo fator quantidade de carbonatos (quadro 11) é explicável pela teoria de carga permanente da partícula coloidal e carga dependente do pH (20). A alta diferença entre o valor da capacidade de troca de cations do solo "in natura" e a capacidade de troca de cations do tratamento L3 aos 195 dias, 25% a mais do primeiro valor, mostra a necessidade de se considerar a capacidade amortiguadora do solo no cálculo da acidez a ser neutralizada. A elevada correlação entre as determinações de capacidade de troca de cations e pH em KCl 1N (figura 7) confirma os resultados encontrados por Pratt (67) em investigação do efeito do pH sobre essa característica.

Como as adições de potássio foram constantes, as variações do índice de saturação (quadro 12) corresponderam aos incrementos de Ca e Mg trocáveis, representando nos tratamentos L1, L2 e L3, a reação do complexo de troca com os materiais de calagem. A evolução da regressão do índice de saturação em função das quantidades de carbonatos L1, L2 e L3, (figura 4) mudando da forma curvilínea à linear, denota a necessidade de se deixar os solos calados com altas doses de carbonatos em certo período de repouso antes de serem cultivados. A forma linear das épocas de amostragem finais mostra que a ação recuperadora da calagem sobre o

complexo de troca do solo é diretamente proporcional à quantidade de cal cário. A alta correlação entre o índice de saturação e o pH em KCl 1N concordam com os estudos de Catani e Gallo (17) em latosolos, em que se demonstrou ser o pH uma função do índice de saturação. Note-se porém que a neutralidade foi alcançada com valores mais baixos do índice de saturação do que os referidos por Coleman e Mehlich (21) para solos cao-línticos. Talvez isso tenha sido uma consequência da presença da forma intermediária bicarbonato, já salientada, que provocaria um aumento do pH e impediria o aparecimento de maiores quantidades de Ca e Mg trocáveis.

A presença de materiais amorfos pode também ter influenciado pelo fato de adsorverem ions que não são extraídos (60).

O teor de potássio trocável do solo determinado antes do experimento é baixo em relação às análises realizadas anteriormente (34). Provavelmente, deveu-se ao menor poder de substituição do Ba em relação ao  $\text{NH}_4$  dos extratores antes usados. Depois de ter sido adicionado 0,4 meq de  $\text{K}^+$  por 100 g de solo através de cada solução nutritiva a todos os tratamentos, os aumentos desiguais que se verificaram (quadro 10) estavam correlacionados significativamente com os aumentos de índice de saturação (figura 3). Assim, as variações de potássio trocável parecem ter sido um efeito do fator quantidade de carbonatos, coincidindo com a informação de Bornemisza (11) de que um solo tropical aumentava o teor desse elemento na forma trocável por influência da calagem, talvez devido à diminuição de competência do ion complementar  $\text{Al}^{+3}$ . Entretanto, em Hawaii, Ayres não encontrou efeito da calagem sobre a liberação de K trocável (6).

A grande decomposição de matéria orgânica depois dos 135 dias, média geral de 2,1% para todos os tratamentos, foi uma consequência das excelentes condições de temperatura, umidade e elementos nutritivos que teve o solo para a atividade microbiana, no interior dos potes. A tendência de decomposição por efeito do fator quantidade de carbonatos confirmou os resultados de Awan (4), em Honduras, de decomposição de matéria orgânica e respectivas mineralizações de fósforo e nitrogênio. Entre os tratamentos L0 e L3 houve uma diminuição média de 0,4% em relação ao peso do solo, ou seja, cerca de 12.000 kilos por hectare. Já entre L0 e L2 a decomposição foi quatro vezes menor, cerca de 3.000 quilos por hectare, mas ainda foi considerável. Entre L0 e L1 não houve diferença. Tudo indica que nas condições naturais de campo ocorra menor perda e que essa pode ser em parte compensada pelos restos das culturas, se deixados sobre o solo, e pela economia de fertilizantes fosfatados e nitrogenados provenientes da mineralização.

Nas duas culturas, a resposta do tomate à calagem não foi a mesma, (figura 15). A diminuição linear da matéria seca na primeira cultura depois da quantidade L1 foi um caso típico de efeito negativo da calagem por insolubilização de Zn e Mn, conforme assinalam Seatz e Jurinak (71) e Sherman (73). Na segunda cultura, o ataque de Fusarium sp. aos tratamentos de baixo pH, L0 e L1, mais uma vez comprovaram a vantagem da calagem em criar condições adversas para a vida de muitos patógenos (27). O aumento de matéria seca da segunda cultura devia estar inversamente relacionado com a deficiência de fósforo que ocorreu, apesar do solo ter recebido o equivalente a 1363 kilos de  $P_2O_5$  por hectare aos 15 dias e 747 aos 75 dias. A forma curvilínea da regressão da quantidade de matéria

sêca em função das quantidades de carbonatos L1, L2 e L3 na segunda cultura, parece representar bem a resposta do tomate à calagem desde que se considere que a incorporação de carbonatos modifica a interação de um complexo de fatores, dos quais uns contribuem positivamente para melhorar a fertilidade e outros negativamente. Com respeito à superioridade dos tipos de misturas 4:1 e 7:1 sobre o tipo 1:1 na produção de matéria sêca da segunda cultura, os resultados discordam das investigações de Halstead et al (33) em podzols, mas coincidem com as indicações de Mehlich e Coleman (53) e Hardy (34) de que a proporção Ca/Mg trocáveis dos solos calcínicos deve oscilar entre 4,0 e 6,0 para um melhor estado de fertilidade. Uma explicação para a inferioridade do tipo 1:1 seria a ação antagônica do Mg contra o Ca, impedindo uma maior utilização desse elemento cuja quantidade total na parte aérea está correlacionada com a produção de matéria sêca (figura 20). A falta de diferença entre os efeitos dos tipos de misturas de carbonatos na primeira cultura se deveu certamente à ação depressiva da calagem.

As diferenças entre as percentagens e os totais de Ca e Mg nas duas culturas por influência dos fatores do experimento foram apreciáveis (quadros 13, 19, 20 e 21). No entanto, considerando-se que os limites mínimos apresentados por Wallace (79) para Ca e Mg são, respectivamente, 40 e 13 miliequivalentes por 100 g de matéria sêca de folha, todos os teores percentuais das duas culturas eram suficientes.

Deve-se considerar, porém, que sendo o tomate uma cultura que retira, através da colheita da parte aérea, apenas 23 kilos de CaO e 9 kilos de MgO por acre (47), os aumentos que se verificaram nos totais de Ca e Mg da parte aérea em função dos fatores do experimento poderiam ter sido de

maior importância no suprimento de Ca e Mg para culturas de absorção três ou quatro vezes maior, como a soja e a alfafa (13).

✓ A variação da proporção Ca/Mg da planta (quadro 24) em intervalos menores (0,55 a 2,42 na segunda cultura) do que os intervalos da proporção Ca/Mg trocáveis do solo é compreendida pela aplicação da teoria de Donnan (adsorção através de uma membrana semi-permeável) no fenômeno de troca de cations raiz-solo.

Quantitativamente, as percentagens de potássio na parte aérea do tomate (quadro 22) eram superiores ao limite de deficiência citado por Wallace (79), 30 miliequivalentes por 100 gramas de matéria seca de folha. A pequena variação dos totais de potássio na parte aérea do tomate (quadro 23) confirmou as boas condições de disponibilidade desse nutriente no solo, mesmo nos tratamentos de menor teor de potássio trocável.

As percentagens e os totais de cations da primeira cultura, diante da ação depressiva da calagem, já discutida, não tiveram validade para os estudos de absorção. Os teores da segunda cultura, embora tenham sofrido a influência da deficiência de fósforo, eram mais apropriados para as interpretações de absorção, devido aos efeitos positivos da calagem sobre o desenvolvimento do tomate.

A correlação das quantidades de Ca, Mg e K trocáveis do solo com as concentrações desses cations na matéria seca da parte aérea do tomate (quadro 25) foi significativa apenas no caso do Mg, concordando parcialmente com as referências de Bould e Hewitt (12), de que as quantidades de cations trocáveis no solo estão correlacionadas com as suas percentagens na planta. Entretanto, as correlações entre as quantidades de

cations do solo e os respectivos totais na parte aérea do tomate foram mais elevadas e significativas tanto para Ca como para Mg (figuras 16 e 17) mostrando que para medir fertilidade é mais importante o aspecto disponibilidade de cations no solo - utilização de cations pela planta.

A correlação significativa encontrada entre a proporção Ca/Mg trocáveis do solo e a proporção Ca/Mg no tomate (figura 13) também foi constatada por Jacoby (43) em plântulas de Citrus.

A variação no desenvolvimento, ou seja, da produção de matéria sêca como uma função do estado nutricional ou de fertilidade do solo, interpretada à luz das correlações - matéria sêca x índice de saturação do solo e matéria sêca x total de Ca na parte aérea (figuras 19 e 20) indicam que os efeitos da calagem na nutrição do tomate se verificaram principalmente através do suprimento de Ca da correção da acidez nociva.

Terminando, é preciso salientar que os resultados da presente investigação foram obtidos em condições artificiais e que, portanto, devem ser usados dentro de certas limitações e estudados com mais detalhes em pesquisas futuras, tanto de invernadouro como de campo.

## CONCLUSÕES

As conclusões que se derivam do presente trabalho e que podem ser consideradas em circunstâncias similares são as seguintes que se enumeram.

1. As quantidades de Ca e Mg trocáveis do solo aumentam em função da proporção Ca/Mg e da quantidade de carbonatos dos materiais de calagem. Com respeito ao fator quantidade, os aumentos são bastante inferiores aos totais de Ca e Mg dos materiais de calagem adicionados ao solo.
2. As variações do índice de saturação do solo segundo diferentes quantidades de carbonatos são representadas por uma função linear depois que a reação solo-carbonato atinge o equilíbrio.
3. A quantidade de potássio trocável do solo aumenta por efeito da quantidade de carbonatos dos materiais de calagem e está correlacionada com o índice de saturação do solo.
4. A capacidade de troca de cations do solo cresce à medida que aumenta a quantidade de carbonatos adicionada ao solo, imprimindo ao complexo de troca um certo poder amortiguador cuja consequência é a necessidade de uma maior quantidade de materiais de calagem para se obter a neutralização desejada.
5. A decomposição da matéria orgânica do solo causada pela calagem é um efeito negativo cuja compensação através da mineralização de fósforo e nitrogênio orgânicos e do aproveitamento dos restos de cultura deve ser investigada.
6. Os teores de Ca e Mg absorvidos pela planta variam em função da proporção Ca/Mg e da quantidade de carbonatos dos materiais de

calagem desde que não ocorra a interferência de outros fatores relacionados com a nutrição vegetal.

7. Há uma maior correlação entre as quantidades de Ca e Mg trocáveis do solo e os totais desses elementos na parte aérea do tomate do que entre as quantidades de Ca e Mg trocáveis do solo e as percentagens desses elementos na matéria seca da parte aérea do tomate.
8. A proporção Ca/Mg da parte aérea do tomate está correlacionada com a proporção Ca/Mg trocáveis do solo.
9. A resposta do tomate à calagem é motivada pelo suprimento de Ca como nutriente e pela correção dos efeitos nocivos da acidez do solo.
10. Os fatores do calcário - proporção Ca/Mg e quantidades - condicionam diferentes estados de fertilidade do solo no que se refere à disponibilidade de Ca, Mg e K e à correção dos efeitos nocivos da acidez. Assim, a consideração desses fatores na prática da calagem dos solos tropicais é necessária para a obtenção de uma maior produtividade.

## SUMÁRIO

A produtividade agrícola dos solos tropicais de clima úmido e sub-úmido está limitada por suas características químicas, entre as quais a pobreza de cálcio e magnésio e a elevada acidez desempenham importante papel.

Investigações realizadas em diversos países têm demonstrado que a prática da calagem dirigida no sentido de suprir as deficiências de cálcio e magnésio e de corrigir os efeitos nocivos da acidez pode ser adotada como técnica de manejo de fertilidade.

É sabido também que o diagnóstico e o dimensionamento das necessidades de calagem de um solo se fundamentam no estudo dos fatores do solo, da planta e do calcário.

Com o objetivo de contribuir com novas informações que aclarassem as vantagens e desvantagens da prática da calagem em solos tropicais, realizaram-se trabalhos de pesquisa para dimensionar os efeitos dos fatores do calcário - proporção cálcio/magnésio e quantidades - sobre as características do complexo de troca do solo e os teores de cations absorvidos pela planta.

Os trabalhos foram realizados com o horizonte A de um latossolo tropical de Costa Rica, mantido em invernadouro durante 195 dias e cultivado duas vezes com tomate. Aplicaram-se doses crescentes de três misturas de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  precipitados cujas proporções cálcio/magnésio em equivalentes químicos eram 1:1, 4:1 e 7:1. Forneceram-se ao solo doses ideais de N, P, K, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B e Mo. Os efeitos das misturas sobre as características do complexo de troca foram observados e medidos

através de análises químicas de amostras colhidas periodicamente. A absorção de cations pela planta foi interpretada através da variação das concentrações e dos totais de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea do tomate.

A solubilização das misturas de carbonatos segundo as determinações de pH e de carbonato residual no solo atingiu o equilíbrio entre os 75 e 135 dias.

O pH do solo em H<sub>2</sub>O e o pH do solo em KCl 1N estiveram altamente correlacionados ( $r = 0,977$ ).

Uma maior dose de carbonato do que a indicada pela acidez trocável determinada com BaCl<sub>2</sub> - TEA pH 8,2 foi necessária para atingir e neutralidade.

As quantidades de cálcio e magnésio trocáveis do solo aumentaram em função da proporção cálcio/magnésio e da quantidade dos materiais de calagem usados.

Depois do equilíbrio da reação solo-carbonato o índice de saturação era uma função linear da quantidade de carbonato. Encontrou-se alta correlação ( $r = 0,945$ ) entre o índice de saturação e o pH em KCl 1N e correlação regular ( $r = 0,681$ ) entre o índice de saturação e o teor de potássio trocável.

A capacidade de troca de cations do solo aumentou 25% com a aplicação da mais alta quantidade de carbonato e os seus valores estiveram altamente correlacionados ( $r = 0,965$ ) com os valores de pH do solo em KCl 1N.

O teor de matéria orgânica do solo sofreu uma diminuição de 0,4% por efeito da dose mais elevada de carbonatos; apenas 0,1% por efeito

da dose intermediária; e nenhuma pela dose menor.

Os teores de cálcio e magnésio da parte aérea do tomate variaram em função dos fatores proporção cálcio/magnésio e quantidades de carbonatos dos materiais de calagem. Encontraram-se correlações mais altas e significativas entre os totais de cálcio e magnésio da parte aérea do tomate e os teores desses elementos sob a forma trocável no solo.

Nas condições do experimento a resposta do tomate à calagem foi motivada pelo suprimento de cálcio como nutriente e à correção dos efeitos nocivos da acidez do solo.

Conclui-se que os fatores do calcário - proporção cálcio/magnésio e quantidades - condicionam, em solos tropicais, diferentes estados de fertilidade no que se refere à disponibilidade de cálcio, magnésio e potássio e à correção dos efeitos da acidez nociva.

## RESUMEN

La producibilidad agrícola de los suelos tropicales de clima húmedo y subhúmedo es limitada por sus características químicas, entre las cuales la pobreza de calcio y magnesio y la alta acidez juega un papel importante.

Investigaciones hechas en varios países han demostrado que la práctica del encalado dirigida con el objetivo de corregir los efectos nocivos de la acidez puede ser empleada como técnica de manejo de fertilidad.

Es conocido también que el diagnóstico y la mensuración de las necesidades de encalado se basan en el estudio de los factores del suelo, de la planta y del calcáreo.

Con el objetivo de contribuir con nuevas informaciones que aclarasen las ventajas y desventajas de la práctica del encalado en suelos tropicales, se hicieron trabajos de investigación para medir los efectos de los factores del calcáreo - proporción calcio/magnesio y cantidades - sobre las características del complejo de cambio y los contenidos de cationes absorbidos por la planta.

Los trabajos fueron hechos con el horizonte A de un latosolo tropical de Costa Rica, mantenido en invernadero por un período de 195 días y cultivado con tomate dos veces. Se aplicaron dosis crecientes de tres mezclas de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$  precipitados cuyas proporciones calcio/magnesio en equivalentes químicos eran 1:1, 4:1 y 7:1. Se suministraron al suelo dosis ideales de N, P, K, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo. Los efectos de las mezclas sobre las características del complejo de cambio fueron observados y medidos por medio de análisis químicos de muestras cogidas

periódicamente. La absorción de cationes por la planta fue interpretada por el estudio de las concentraciones y de los totales de Ca, Mg y K en la materia seca de la parte aérea del tomate.

La solubilización de las mezclas de carbonatos según las determinaciones de pH y de carbonato residual en el suelo, alcanzó el equilibrio entre los 75 y 135 días.

El pH del suelo en H<sub>2</sub>O y el pH del suelo en KCl estuvieron altamente correlacionados ( $r = 0,977$ ).

Una dosis de carbonato más grande que la indicada por la acidez cambiante determinada con BaCl<sub>2</sub> - TEA pH 8,2 fue necesaria para alcanzar la neutralidad.

Las cantidades de calcio y magnesio cambiables aumentaron en función de la proporción calcio/magnesio y de la cantidad de los materiales de encalados usados.

Después del equilibrio de la reacción suelo-carbonato, el índice de saturación era una función lineal de la cantidad de carbonatos. Se encontró alta correlación ( $r = 0,945$ ) entre el índice de saturación y el pH en KCl 1N y correlación regular ( $r = 0,681$ ) entre el índice de saturación y el contenido de potasio cambiante.

La capacidad de cambio de cationes del suelo aumentó 25% con la aplicación de la cantidad más grande de carbonatos y sus valores estuvieron altamente correlacionados ( $r = 0,965$ ) con los valores de pH del suelo en KCl 1N.

El contenido de materia orgánica del suelo sufrió una disminución de 0,4% por efecto de la dosis más elevada de carbonatos; solamente 0,1% por efecto de la dosis intermedia; y ninguno por la dosis menor.

Los contenidos de calcio y magnesio de la parte aérea del tomate cambiaron en función de los factores proporción calcio/magnesio y cantidad de carbonatos de los materiales de encalado. Se encontraron correlaciones más altas y significativas entre los totales de calcio y magnesio en la parte aérea del tomate y los contenidos de estos elementos en la forma cambiante en el suelo.

En las condiciones del experimento la respuesta del tomate al encalado fue causada por el suministro de calcio como nutrimento y a la corrección de los efectos nocivos de la acidez del suelo.

Se concluye que los factores del calcáreo - proporción calcio/magnesio y cantidades - condicionan, en suelos tropicales, diferentes estados de fertilidad en lo que se refiere a la disponibilidad de calcio, magnesio y potasio y a la corrección de los efectos de la acidez nociva.

### SUMMARY

The agricultural productivity of tropical soils in humid and sub-humid climates is limited by their chemical characteristics, among which deficiencies in calcium and magnesium and high acidity play an important role.

Research in several countries have demonstrated that the practice of liming in order to correct those characteristics can be adopted as a technique of improving soil fertility. It is also known that the diagnosis and measurement of the liming requirements of a certain soil is based on the study of factors related to the soil, the plant, and the lime.

With the objective of contributing with new information that might make more clearly the advantages and disadvantages of the practice of liming in tropical soils, work was done in order to measure the effects of the factors of the lime - proportion of calcium/magnesium and its amount - on the characteristics of the soil exchange complex and the content of cations absorbed by the tomato.

Work was conducted with a topsoil from a tropical latosol of Costa Rica, maintained in a greenhouse for 195 days and cultivated twice with tomatoes. Increasing amounts of three mixtures of precipitated  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{MgCO}_3$  were applied in the following proportions (chemical equivalents): 1:1, 4:1, and 7:1, respectively. Ideal amounts of N, P, K, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, and Mo, were supplied to the soil. The effects of the mixtures on the characteristics of the exchange complex were observed and measured through chemical analyses of samples taken periodically. The absorption of cations by the plant was interpreted through the variation

of Ca, Mg, and K concentration and totals in dry matter of the stems and leaves of the plant.

Solubility of the carbonate mixtures according to the determination of pH and of the residual carbonate in the soil, reached equilibrium between 75 and 135 days.

The soil pH in H<sub>2</sub>O and in KCl 1N were highly correlated ( $r = 0,977$ ).

A higher dose of carbonate than that indicated by the exchangeable acidity determined with BaCl<sub>2</sub> - TEA pH 8.2 was necessary to reach neutral ity.

The amounts of exchangeable calcium and magnesium in the soil increased in function of the proportion of calcium/magnesium and of the amount of the liming materials used.

After the equilibrium of the reaction soil-carbonate was reached, the saturation index was a linear function of the amount of carbonate. A high correlation ( $r = 0,945$ ) was encountered between the saturation index and the pH in KCl 1N and a not so high correlation ( $r = 0,681$ ) was encountered between the saturation index and the content of exchangeable potassium.

The cation exchange capacity of the soil increased 25% with the application of the highest amount of carbonate and its value were highly correlated ( $r = 0,965$ ) with the values of the soil pH in KCl 1N.

The amount of the organic matter in the soil suffered a decrease of 0.4% as an effect of the highest carbonate dose; only 0.1% as an effect of the medium dose; and none as an effect of the smallest dose.

The calcium and magnesium content of the stems and leaves of the tomato changed in function of the factors of the liming materials.

Correlations were found between the total calcium and magnesium contents of the stems and leaves of tomato and the content of these elements in exchangeable form in the soil.

Under the conditions of the experiment the response of the tomato to the liming was caused by the calcium nutrient supply and to the correction of the harmful effects of the soil acidity.

It was concluded that the characteristics of the liming materials used (proportion of calcium-magnesium and amount of carbonate) caused changes in the fertility status. The properties altered were the availability of calcium, magnesium, and potassium and the removal of the harmful acidity.

LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F., VICENTE-CHANDLER, J., e PEARSON, R. W. Effects of liming on yields and composition of heavily fertilized grasses and on soils properties under humid tropical conditions. Soil Science Society of America. Proceedings 28(5):657-661. 1964.
2. ALLISON, L. E. e MOODIE, C. D. Carbonate. In Black, C. A. et al, eds. Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part 2, pp. 1379-1396.
3. ANDERSON, A. J. Molybdenum deficiencies in legumes in Australia. Soil Science 81(2):173-182. 1956.
- ✓ 4. AWAN, A. B. Effect of lime on availability of phosphorus in Zamorano soils. Soil Science Society of America. Proceedings 28(5): 672-673. 1964.
5. AYRES, A. S. Soils of high-rainfall areas in the Hawaiian Islands. Hawaii Agricultural Experimental Station. Bulletin 1. 1943. 41 p.
6. \_\_\_\_\_ Release of non-exchangeable potassium in Hawaiian sugar cane soils. Hawaii University. Agricultural Experimental Station. Bulletin 9. 1949. 50 p.
7. \_\_\_\_\_ Liming Hawaiian sugar cane soils. Hawaiian Planters' Record 56(3):227-244. 1961.
8. BECKETT, P. H. T. The cation exchange equilibria of calcium and magnesium. Soil Science 100(2):118-123. 1965. ✓✓
9. BLACK, C. A. Soil-plant relationships. New York, Wiley, 1957. pp. 128-158.
10. BOLTON, J. e SHORROCKS, V. M. The effect of magnesium limestone and other fertilizers on the mature planting of *Hevea brasiliensis*. Journal of the Rubber Research Institute of Malaya 17(2):31-39. 1961.
11. BORNEMISZA, E. La solución extractora y la humedad en relación con el potasio intercambiable. Experiencias en un suelo aluvional de Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) 10(1):35-39. 1960.
12. BOULD, C. e HEWITT, E. J. Nutrition of plants in soils and culture media. In Steward, F. C., ed. Plant physiology. III. Inorganic nutrition of plants. New York, Academic Press, 1963. Vol. III, pp. 16-133. ✓✓✓

13. BRELAND, H. L. Lime in Florida Agriculture. Florida Agricultural Experimental Station. Circular S-155. 1964. 19 p.
14. BROWN, D. A. e ALBRECHT, A. Wm. Plant nutrition and the hydrogen ion. VII. Cation exchange between hydrogen clay and soils. Missouri. University Agricultural Experiment Station. Research Bulletin no. 477. 1951. 24 p.
15. BUCKMAN, H. O. e BRADY, N. C. The nature and properties of soils. 6th ed. New York, Macmillan, 1960. pp. 306-400. ✓
16. BUDOWSKI, G. e SCHREUDER, G. F. The climate at Turrialba, Turrialba, Costa Rica, IICA, Department of Forestry. Communication 60, 1963. 36 p. ✓
- ✓ 17. CATANI, R. A. e GALLO, J. R. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a percentagem de saturação de bases. Revista de Agricultura (São Paulo, Brasil) 30(1,2,3):49-60. 1955. ✓
18. CHENERY, E. M. A preliminary study of aluminium and the tea bush. Plant and Soil 6(2):174-200. 1955.
19. CHICHILO, P. e WHITTAKER, C. W. Trace elements in agricultural limestones of the United States. Agronomy Journal 53(3):139-144, 1961.
20. COLEMAN, N. T. Soluble acid only a small part of total acidity. Chilean Nitrate Farm Forum no 55:14-15. 1955. ✓
21. \_\_\_\_\_ e MEHLICH, A. The chemistry of soil pH. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook, 1957. Washington, 1953? pp. 72-79.
22. \_\_\_\_\_, KAMPRATH, E. J. e WEED, S. B. Liming. Advances in Agronomy 10:475-522. 1958.
23. \_\_\_\_\_, RAGLAND, J. L. e CRAIG, D. An unexpected reaction between Al - clay or Al - soil and CaCl<sub>2</sub>. Soil Science Society of America. Proceedings 24(5):419-420. 1960.
24. DONDOLI, C. e TORRES, J. A. Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1954. 180 p.
25. DRAKE, M. Soil chemistry and plant nutrition. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York, Reinhold, 1964. pp.395-444.
26. \_\_\_\_\_, VENGRIS, J. e COLBY, W. G. Cation exchange capacity of plant roots. Soil Science 72(2):139-147. 1951.

27. ENO, C. E. The relationship of soil reaction to the activities of soil microorganisms - a review. Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings 17:34-47. 1957.
28. ESCOBAR, R. Enciclopedia agrícola y de conocimientos afines. Juárez, México, s.f. Vol. I, pp. 1153-1157.
29. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Production Yearbook. Rome, 1964. Vol. 13, 547 p.
30. FOX, R. L., DATTA, S. K. e SHERMAN, G. D. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminium status of Hawaiian soils as influenced by liming. In International Society of Soil Science. Transactions of Joint Meeting of Commission IV and V. New Zealand, 1962. pp. 574-583.
31. FRIED, M. e DEAN, L. A. Phosphate retention by iron and aluminium in cation exchange system. Soil Science Society of America, Proceedings 19(2):143-147. 1955.
32. GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. Piracicaba, Brasil, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1963. 328 p.
33. HALSTEAD, R. L., MACLEAN, A. J. e NIELSEN, K. F. Ca:Mg ratios in soil and the yield and composition of alfalfa. Canadian Journal of Soil Science 38(2):85-93. 1958. ✓✓
34. HARDY, F. Senile soils 9th Annual Caribbean Conference. Gainesville, School of the Inter-American Studies, University of Florida, 1958. pp. 14-43.
- ✓ 35. \_\_\_\_\_ e BAZAN, R. Studies in Costa Rican soils. I. Senile latosol (Colorado Series). (A) Genesis mineralogical and chemical composition. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 8 p. (mimeografado)
36. \_\_\_\_\_ e BAZAN, R. Studies in Costa Rican soils. III. Senile latosol (Colorado Series). (C) Determination of fertility status by pot-tests. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 12 p. (mimeografado)
37. HODGMAN, C. D., WEAST, R. C. e SELBY, S. M. Handbook of chemistry and physics. 39th ed. Cleveland, Chemical Rubber Publishing Co., 1957. pp. 467-639.
38. HORWITZ, W., ed. Official and tentative methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, 6th ed. Washington, D. C., 1955. p. 102.
39. HSU, P. H. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in soils. Soil Science Society of America. Proceedings 28(4):474-478. 1964.

40. IGUE, K. e GALLO, J. R. Deficiencias de zinc en plantaciones del Estado Brasileño de San Pablo. Instituto IBEC de Investigaciones Técnicas. Boletín no. 20. 1960. 19 p.
41. JACKSON, L. M. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1953. pp. 33-133.
42. \_\_\_\_\_ Chemical composition of soils. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York, Reinhold, 1964. pp. 71-141.
43. JACOBY, B. Calcium-magnesium ratios in the root medium as related to magnesium uptake by citrus seedlings. Plant and Soils 15(1):74-80. 1961.
44. JUSTENSEN, S. Elementos de estadística y diseños experimentales. II. Estadística. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1966. pp. 53-111. (mimeografiado)
45. KANEHIRO, Y. e CHANG, A. T. Cation exchange properties of the Hawaiian Great Soils groups. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin no. 31. 1956. 27 p.
46. KEY, J. L., KURTZ, L. T. e TUCKER, B. B. Influence of ratio of exchangeable calcium-magnesium on yield and composition of soybeans and corn. Soil Science 93(3):265-270. 1961.
47. KNOTT, J. E. Handbook for vegetable growers. New York, Wiley, 1962. pp. 54-59.
48. LANDRAU, P., Jr. e SAMUELS, G. Results of lime and minor element fertilizer research in Puerto Rico, 1949-50. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 40(4):224-234. 1956.
49. LUGO-LOPEZ, M. A., HERNANDEZ-MEDINA, E. e ACEVEDO, G. Response of some tropical soils and crops of Puerto Rico to applications of lime. Puerto Rico Agricultural Experiment Station. Technical Paper no. 23. 1959. 19 p.
50. MATSUSAKA, Y. e SHERMAN, G. D. Lime requirements of Hawaiian Soils. Hawaii Farm Science 13(3):5-6. 1964.
51. MEHLICH, A. Effect of type of soil colloid on cation adsorption capacity and exchangeable hydrogen and calcium as measured by different methods. Soil Science 60:289-304. 1945.
52. \_\_\_\_\_ Improvements in the colorimetric magnesium and ammonium methods with sodium polyacrylate. Journal of the Association of Official Agricultural Chemists 39(2):518-523. 1956.

53. MEHLICH, A. e COLEMAN, N. T. Type of soil colloid and the mineral nutrition of plants. *Advances in Agronomy* 4:67-99. 1952.
54. \_\_\_\_\_ e COWELL, W. E. Absorption of calcium by peanuts from kaolin and bentonite at varying levels of calcium. *Soil Science* 61: 369-374. 1946.
55. \_\_\_\_\_ e REED, J. F. The influence of degree of saturation potassium level, and calcium addition on removal of calcium, magnesium and potassium. *Soil Science Society of America, Proceedings* 10:87-93. 1945. ✓✓
56. MESSING, H. L. The effects of lime and superphosphate on manganese toxicity in steam sterilized soil. *Plant and Soil* 23(1):1-16. 1965.
57. MEYER, B. S., ANDERSON, D. B. e BOHNING, R. H. Introduction to plant physiology. New York, Van Nostrand, 1960. pp. 296-326.
58. MIKKELSEN, D. S., DE FREITAS, L. M. M. e McCLUNG, A. C. Effects of liming and fertilizing on cotton, corn and soybeans on campo cerrado soils - State of São Paulo, Brasil. IRI Research Institute Incorporation. Bulletin no. 29. 1963. 34 p.
59. MITCHELL, R. L. Trace elements in soils. In Bear, F. E., ed. *Chemistry of the soil*. 2nd ed. New York, Reinhold, 1964. pp. 320-368.
60. MITCHELL, B. D., FARMER, V. C. e McHARDY, W. J. Amorphous inorganic material in soils. *Advances in Agronomy* 16:327-383. 1964.
61. MOHR, E. C. J. e VAN BAREN, F. A. *Tropical soils*. New York Inter-Science Publishers, 1954. 493 p.
62. NASON, A. e McELROY, W. D. Modes of action of the essential mineral elements. In Steward, F. C., ed. *Plant physiology*. III. Inorganic nutrition of plants. New York, Academic Press, 1963. Vol. III, pp. 451-536.
63. PEARSON, R. W., ABRUÑA, F. e VINCENTE-CHANDLER, J. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. *Soil Science* 93(2):77-82. 1962.
64. PERALTA, M. E. Análisis de algunos minerales en hojas de café con y sin afección de café macho. Tesis Licenciado en Química en la Universidad Nacional de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1966. pp. 33-49.

65. PONNAMPERUMA, F. N. The benefits of liming acid lateric rice soils of Ceylon. International Congress of Soil Science, 7th. Transactions 3:285-292. 1960.
66. POPENOE, H. Some soil cations relationships in area of shifting cultivation in the Humid Tropics. International Congress of Soil Science, 7th. Transactions 3:303-311. 1960.
67. PRATT, P. F. Effect of pH on the cation-exchange capacity of surface soils. Soil Science Society of America, Proceedings 25(2):96-98. 1961.
68. RICHARDSON, H. L. The fertility potencialities and needs of tropical soils. Tropical Science 5(3):166-177. 1963.
69. RIXON, A. J. e SHERMAN, G. D. Effects of heavy lime applications to volcanic ash soils in the humid tropics. Soil Science 94(1):19-27. 1962.
70. SAIZ DEL RIO, J. F. e BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos. Métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. pp. 94-97.
71. SEATZ, L. F. e JURINAK, J. J. Zinc and soil fertility. U.S. Department of Agriculture. Yearbook 1957. Washington, 1958? pp. 115-121.
72. \_\_\_\_\_ e PETERSON, H. B. Acid, alkaline, saline and sodic soils. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the soils. 2nd ed. New York, Reinhold, 1964. pp. 292-319.
73. SHERMAN, G. D. Manganese and soil fertility. U.S. Department of Agriculture. Yearbook, 1957. Washington, 1958? pp. 135-138.
74. \_\_\_\_\_ Studies on minerals in Hawaiian soils. Hawaii Farm Science 5(3):1-3. 1957.
75. \_\_\_\_\_ E CHU, A. C. Differential fixation phosphate by typical soils of the Hawaiian Great soil Groups. Hawaii Agricultural Experimental Station. Technical Bulletin no. 16. 1952. 20 p.
76. SHIUE, CHERNG-JIAN e CHIN, N. L. Direct use of pH values in statistical analysis of soil reactions. Soil Science 84(3): 219-224. 1957.
77. TRUOG, E. Soil acidity and liming. Soils and Men, U.S. Department of Agriculture. Yearbook, 1938. Washington, 1939? pp. 563-580.

78. TRUOG, E. Soil as a medium for plant growth. In Troug, E., ed. Mineral nutrition of plants. Madison University of Wisconsin Press, 1951. pp. 23-55.
79. WALLACE, T. The diagnosis of mineral deficiencies in plants (by visual symptoms). 2nd ed. New York, Chemical Publishing Inc., 1961. pp. 39
80. WIKLANDER, L. Cation and anion exchange phenomena. In Bear, F. E., ed. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York, Reinhold, 1964. pp. 163-205.
81. WRIGHT, R. P. The standard cyclopedia of modern agriculture and rural economy. London, Gresham, 1903-11. Vol. 8, pp. 31-35.

A P Ê N D I C E S

QUADRO 6. Carbonato residual no solo, calculado do total Ca + Mg trocáveis do complexo#. Teores percentuais segundo as épocas de amostragem e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	15 dias (1º semeio)		75 dias (1ª colheita)		135 dias (2º semeio)		195 dias (2ª colheita)									
	Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg									
	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1								
L 1	49,6	59,2	57,1	55,3	36,1	30,2	36,5	34,2	30,9	36,7	34,1	33,9	35,2	40,3	40,5	38,6
L 2	59,3	52,6	55,5	55,8	40,7	40,1	42,0	40,9	42,0	42,3	39,5	41,2	38,2	37,8	37,3	37,7
L 3	60,5	59,6	58,5	59,6	48,5	52,2	45,3	48,6	49,4	42,7	43,2	45,1	44,1	43,3	41,6	43,0
Médias	56,4	57,1	57,1	56,9	41,7	40,8	41,2	41,2	40,7	40,5	38,9	40,0	39,1	40,5	39,8	39,8

# As percentagens foram calculadas em relação às quantidades de carbonatos adicionadas no início do experimento. Diminuíram-se os teores de Ca e Mg trocáveis do solo antes da adição dos carbonatos e somaram-se os totais de Ca e Mg da parte aérea aumentados de 20%.

QUADRO 7. Teor de Ca trocável no solo#. Variação segundo as épocas de amostragem e os fatores do experimento.

Quantidade de carbonatos	15 dias (1º semelo)		75 dias (1ª colheita)		135 dias (2º semelo)		195 dias (2ª colheita)									
	Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg									
	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1								
L 0	1,8	2,5	2,3	0,1	0,5	0,6	0,4	1,1	2,0	2,2	1,8	0,8	1,7	1,9	1,5	
L 1	3,5	4,5	4,3	2,7	5,4	5,3	4,5	3,3	5,0	5,8	4,7	2,3	3,2	3,9	3,1	
L 2	5,8	10,4	8,9	6,2	10,6	11,4	9,4	6,1	10,4	12,1	9,5	4,9	8,9	9,9	7,9	
L 3	8,5	13,6	14,5	12,2	8,6	13,3	16,9	13,0	8,6	16,4	17,8	14,3	6,9	13,2	15,6	11,9
Médias	4,9	7,7	8,1	6,4	4,4	7,5	8,5	6,8	4,8	8,5	9,5	7,6	3,7	6,8	7,8	6,1

# Os teores estão expressos em miliequivalentes por 100 gramas de solo seco ao ar.

QUADRO 8. Teor de Mg trocável no solo<sup>#</sup>. Variação segundo as épocas de amostragem e os fatores do experimento.

Quantidade de carbonatos	15 dias (1º semeio)		75 dias (1ª colheita)		135 dias (2º semeio)		195 dias (2ª colheita)								
	Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg								
	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1							
L 0	1,2	0,7	0,8	0,7	0,3	0,2	0,4	1,4	0,7	0,5	0,9	1,5	0,7	0,4	0,8
L 1	3,1	1,0	1,7	3,5	1,3	0,8	1,8	3,6	1,3	0,9	1,9	2,5	0,8	0,5	1,3
L 2	4,5	1,6	2,3	6,5	2,0	1,0	3,2	6,8	2,3	1,4	3,5	6,3	2,1	1,1	3,2
L 3	6,4	1,6	3,0	8,4	2,3	1,2	3,9	8,6	3,2	1,9	4,6	9,0	2,8	1,7	4,5
Médias	3,8	1,2	1,9	4,8	1,5	0,8	2,3	5,1	1,9	1,1	2,7	4,8	1,6	0,9	2,5

<sup>#</sup> Os teores estão expressos em miliequivalentes por 100 gramas de solo seco ao ar.

QUADRO 9. Relação Ca/Mg trocáveis do solo#. Variação segundo as épocas de amostragem e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	15 dias (1º semeio)		75 dias (1ª colheita)		135 dias (2º semeio)		195 dias (2ª colheita)									
	Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg									
	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1								
	médias		Médias		Médias		Médias									
	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1								
	7:1	7:1	7:1	7:1	7:1	7:1	7:1	7:1								
L 0	1,5	3,5	4,9	3,3	0,2	1,5	2,4	1,3	0,7	2,6	4,4	2,6	0,5	2,2	4,8	2,5
L 1	1,1	4,2	5,4	3,5	0,7	4,0	6,6	3,8	0,8	3,8	6,3	3,7	0,9	3,6	6,6	3,7
L 2	1,2	6,3	10,9	6,2	0,9	5,2	11,1	5,7	0,8	4,4	8,2	4,5	0,7	4,0	8,7	4,5
L 3	1,3	8,3	15,3	8,3	1,0	5,7	13,8	6,8	1,0	5,0	9,3	5,1	0,7	4,6	8,7	4,7
Médias	1,3	5,6	9,1	5,3	0,7	4,1	8,5	4,4	0,8	4,0	7,1	4,0	0,7	3,6	7,2	3,8

QUADRO 10. Teor de K trocável no solo#. Variação segundo as épocas de amostragem e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	15 dias (1º semeio)		75 dias (1ª colheita)		135 dias (2º semeio)		195 dias (2ª colheita)								
	Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg								
	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1							
L 0	0,28	0,23	0,24	0,25	0,06	0,00	0,00	0,02	0,34	0,26	0,26	0,36	0,21	0,19	0,22
L 1	0,23	0,20	0,19	0,20	0,02	0,00	0,00	0,00	0,31	0,28	0,26	0,17	0,12	0,11	0,13
L 2	0,26	0,16	0,17	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,38	0,40	0,21	0,19	0,12	0,17
L 3	0,37	0,33	0,17	0,29	0,08	0,03	0,04	0,05	0,83	0,83	0,78	0,51	0,49	0,42	0,47
Médias	0,28	0,23	0,19	0,23	0,04	0,01	0,01	0,02	0,47	0,43	0,42	0,28	0,25	0,21	0,25

# Os teores estão expressos em miliequivalentes por 100 gramas de solo seco ao ar.

QUADRO 11. Capacidade de troca de cátions do solo#. Variação segundo as épocas de amostragem e os fatores do experimento.

Quantidade de carbonatos	15 dias (1º semeio)		75 dias (1ª colheita)		135 dias (2º semeio)		195 dias (2ª colheita)									
	Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg									
	1:1	4:1	7:1	Médias	1:1	4:1	7:1	Médias								
L 0	32,3	32,5	33,4	32,7	27,1	27,0	28,2	27,4	28,6	28,6	30,9	29,3	30,8	29,5	30,9	30,4
L 1	32,5	32,8	32,4	32,6	30,6	28,6	30,8	30,0	30,3	29,0	32,6	30,6	32,2	31,0	32,2	31,8
L 2	34,9	34,5	33,6	34,3	33,5	33,0	33,3	33,3	34,2	32,8	32,0	33,0	34,9	34,1	33,6	34,2
L 3	38,4	37,8	37,6	37,9	38,7	37,9	35,6	37,4	36,9	35,4	35,5	35,9	37,9	38,2	38,6	38,3
Médias	34,5	34,4	34,2	34,4	32,5	31,6	32,0	32,0	32,5	31,4	32,7	32,2	33,9	33,2	33,8	33,7

# Os dados estão expressos em miliequivalentes por 100 gramas do solo seco ao ar.

QUADRO 12. Índice de saturação de cátions#. Variação segundo as épocas de amostragem e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	15 dias (1º semeio)		75 dias (1ª colheita)		135 dias (2º semeio)		195 dias (2ª colheita)									
	Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg		Proporções Ca/Mg									
	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1	1:1	4:1								
	Médias	7:1	Médias	7:1	Médias	7:1	Médias	7:1								
L 0	10,2	10,5	10,0	10,2	3,4	3,4	3,2	3,3	10,1	10,3	9,3	10,2	3,6	3,9	3,6	8,6
L 1	21,4	17,6	13,6	19,2	20,4	23,7	19,3	21,3	24,0	23,0	21,3	22,0	15,6	13,7	14,2	14,5
L 2	30,7	35,4	34,3	33,5	38,1	38,5	37,2	37,9	39,3	40,0	43,7	41,0	32,7	33,1	33,2	33,0
L 3	39,3	41,1	41,6	40,3	44,2	41,5	51,2	45,6	49,0	57,9	57,9	54,9	43,4	43,5	46,0	44,3
Médias	25,5	26,1	26,1	25,9	26,5	26,3	27,3	27,0	30,6	32,9	33,1	32,2	25,1	24,8	25,4	25,1

# Índices expressos em percentagens da capacidade de troca de cátions.

QUADRO 13. Índice de saturação de cations. Equações de regressão das diversas épocas de amostragem.

Épocas de amostragem	Regressão <sup>#</sup>	
	Línear	Quadrática
15 dias		$y=1,8754^{***}x - 0,0206^{***}x^2$
75 "		$y=2,1163^{**}x - 0,0236^{**}x^2$
135 "	$y=7,4450^{*}-1,3404^{***}x$	
195 "	$y=1,2418^{***}x$	

<sup>#</sup> y = índice de saturação, x = quantidades de carbonatos.

\*\*\* - coeficiente significativo a uma probabilidade de 0,001

\*\* - coeficiente significativo a uma probabilidade de 0,01

\* - coeficiente significativo a uma probabilidade de 0,05

QUADRO 14. Correlações entre algumas características do solo; pH em KCl 1N com pH em H<sub>2</sub>O, índice de saturação de cations e capacidade de troca de cations e índice de saturação de cations com K trocável.

Variáveis	Coefficiente r	Regressão linear
pH em KCl 1N (x) x	0,977 <sup>**</sup>	$y=0,085+1,0807x^{***}$
pH em H <sub>2</sub> O (y)		
Índice de saturação de cations (x) x	0,945 <sup>**</sup>	$y=0,915+0,1580x^{***}$
pH em KCl 1N (y)		
pH em KCl 1N (x) x	0,965 <sup>**</sup>	$y=0,4732+6,2047x^{***}$
Capacidade de troca de cations (y)		
Índice de saturação de cations (x) x	0,681 <sup>**</sup>	$y=+0,0186+0,0105x^{***}$
K trocável (y)		

\*\*\* - Coeficiente significativo a uma probabilidade de 0,001

\*\* - Coeficiente significativo a uma probabilidade de 0,01

QUADRO 15. Teor de matéria orgânica no solo<sup>#</sup>. Variação segundo época de amostragem e fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	135 dias (2 <sup>o</sup> semeio)				Médias	195 dias (2 <sup>a</sup> colheita)			Médias
	Proporções			Proporções					
	1:1	4:1	7:1	1:1		4:1	7:1		
L 0	11,8	11,7	11,9	11,7	9,1	9,6	9,7	9,4	
L 1	11,0	11,4	11,9	11,4	9,0	9,8	9,4	9,4	
L 2	10,8	11,1	11,7	11,2	9,4	9,5	9,1	9,3	
L 3	11,5	11,3	11,0	11,2	9,2	8,9	9,1	9,0	
Médias	11,3	11,4	11,6	11,4	9,2	9,4	9,3	9,3	

<sup>#</sup> Percentagens em relação ao pêsco do solo sêco ao ar.

QUADRO 16. Pêsco da matéria sêca da parte aérea do tomate<sup>#</sup>. Primeira e segunda culturas segundo os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1 <sup>a</sup> cultura				Médias	2 <sup>a</sup> cultura			Médias
	Proporções			Proporções					
	1:1	4:1	7:1	1:1		4:1	7:1		
L 0	15,5	17,9	19,5	17,6	9,5	9,8	9,7	9,6	
L 1	29,3	26,3	26,4	27,2	18,3	21,6	22,2	20,7	
L 2	20,0	19,4	17,3	18,9	30,3	34,2	33,9	32,8	
L 3	19,0	14,5	12,2	15,2	36,1	40,6	38,2	38,3	
Médias	20,7	19,6	19,7	19,7	24,5	27,6	27,1	26,4	

<sup>#</sup> Pêsco médio das quatro replicações em grammas por pote.

QUADRO 17. Análise da variância e da regressão#. Matéria sêca da parte aérea das duas culturas do tomate segundo os fatores do experimento.

Fatores	1ª cultura			2ª cultura		
	GL	Q. M.	F	GL	Q. M.	F
Proporções	2	14,00	1,24	2	42,97	4,05*
Quantidades substâncias	1	49,12	4,37*	1	1.578,79	148,94***
	2	449,92	40,05***	2	1.945,24	183,51***
	3	302,93	27,00***	3	1.700,94	160,46***
Proporções x quantidades	6	21,82	1,94	6	4,75	0,44
Erro experimental	32	11,22		33	10,60	
D.M.S. entre proporções		—	—		2,39*	3,20**
D.M.S. " substâncias		2,53*	3,40**		2,45*	3,29**
D.M.S. " quantidades (L1, L2 e L3)		3,44*	4,26**		2,67*	3,59**
Equação da regressão#						
y = peso de matéria sêca $y=32,589^{***}-0,5042^{***}x$ $y=2,0107^{***}x-0,0264^{***}x^2$						
x = quantidade de carbonatos						

# A regressão está calculada apenas em função dos tratamentos de carbonatos (L1, L2, L3); não foi considerado o tratamento de nitrato I0.

\*\*\* - Significativo a uma probabilidade de 0,001

\*\* - Significativo a uma probabilidade de 0,01

\* - Significativo a uma probabilidade de 0,05

QUADRO 18. Concentração de Ca na parte aérea do tomate . Teores em miliequivalentes por 100 g de matéria sêca segundo as culturas e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1ª cultura				2ª cultura			
	Proporções			Médias	Proporções			Médias
	1:1	4:1	7:1		1:1	4:1	7:1	
L 0	47	52	55	51	87	117	126	110
L 1	50	85	87	74	80	111	118	103
L 2	66	112	126	101	68	104	121	97
L 3	76	150	158	128	69	110	117	98
Médias	59	99	106	88	76	110	120	102

QUADRO 19. Total de Ca na parte aérea do tomate . Totais das dez plantas de cada pote em miliequivalentes segundo as culturas e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1ª cultura				2ª cultura			
	Proporções			Médias	Proporções			Médias
	1:1	4:1	7:1		1:1	4:1	7:1	
L 0	7,2	9,3	10,7	9,0	8,2	11,4	12,2	10,6
L 1	14,6	28,3	22,9	19,9	14,6	23,9	26,1	21,5
L 2	13,2	21,7	21,7	18,8	20,6	35,5	41,0	32,3
L 3	14,4	21,7	19,2	18,4	24,9	44,6	44,6	38,0
Médias	12,3	18,7	18,6	16,5	17,0	28,8	30,9	25,6

QUADRO 20. Concentração de Mg na parte aérea do tomate. Teores em miliequivalentes por 100 g de matéria sêca segundo as culturas e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1ª cultura				2ª cultura			
	Proporções			Médias	Proporções			Médias
	1:1	4:1	7:1		1:1	4:1	7:1	
L 0	85	44	32	53	97	67	52	72
L 1	102	74	72	82	115	75	68	86
L 2	103	91	82	93	129	70	65	88
L 3	116	105	88	103	125	52	56	84
Médias	102	78	68	83	116	71	60	82

QUADRO 21. Total de Mg na parte aérea do tomate. Totais das dez plantas de cada pote em miliequivalentes segundo as culturas e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1ª cultura				2ª cultura			
	Proporções			Médias	Proporções			Médias
	1:1	4:1	7:1		1:1	4:1	7:1	
L 0	13,1	7,8	6,2	9,0	9,2	6,5	5,0	6,9
L 1	29,8	19,4	19,0	22,7	21,0	16,2	15,0	13,0
L 2	21,6	17,6	14,1	17,7	39,0	23,9	22,0	28,3
L 3	22,0	15,2	10,7	15,9	45,1	29,2	21,3	31,8
Médias	21,6	15,0	12,5	16,3	28,5	18,9	15,8	21,1

QUADRO 22. Concentração de K na parte aérea do tomate. Teores em miliequivalentes por 100 g de matéria sêca segundo as culturas e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1ª cultura				2ª cultura			
	Proporções			Médias	Proporções			Médias
	1:1	4:1	7:1		1:1	4:1	7:1	
L 0	91	85	76	84	101	106	98	101
L 1	57	63	53	57	86	67	56	69
L 2	74	71	70	71	52	38	51	47
L 3	70	80	84	78	40	39	39	39
<b>Médias</b>	<b>73</b>	<b>74</b>	<b>70</b>	<b>72</b>	<b>69</b>	<b>62</b>	<b>61</b>	<b>64</b>

QUADRO 23. Total de K na parte aérea de tomate. Totais das dez plantas de cada pote em miliequivalentes segundo as culturas e os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1ª cultura				2ª cultura			
	Proporções			Médias	Proporções			Médias
	1:1	4:1	7:1		1:1	4:1	7:1	
L 0	14,1	15,2	14,8	14,7	9,5	10,3	9,5	9,7
L 1	16,7	16,5	13,9	15,7	15,7	14,4	12,4	14,1
L 2	14,8	13,7	12,1	13,5	15,7	12,9	17,2	15,2
L 3	13,3	11,6	10,2	11,7	14,4	15,8	14,8	15,0
<b>Médias</b>	<b>14,7</b>	<b>14,2</b>	<b>12,7</b>	<b>13,9</b>	<b>13,8</b>	<b>13,3</b>	<b>13,4</b>	<b>13,5</b>

QUADRO 24. Proporção Ca/Mg na planta<sup>#</sup>. Variações segundo os fatores do experimento.

Quantidades de carbonatos	1ª cultura				2ª cultura			
	Proporções			Médias	Proporções			Médias
	1:1	4:1	7:1		1:1	4:1	7:1	
L 0	0,5	1,1	1,7	1,1	0,8	1,7	2,4	1,6
L 1	0,4	1,1	1,2	0,9	0,6	1,4	1,7	1,3
L 2	0,6	1,2	1,5	1,1	0,5	1,4	1,8	1,2
L 3	0,6	1,4	1,7	1,2	0,5	1,5	2,0	1,3
<b>Médias</b>	<b>0,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	<b>0,6</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>

<sup>#</sup> Proporções calculadas de dados expressos em miliequivalentes.

QUADRO 25. Correlações entre os cations trocáveis do solo e os teores de cations da segunda cultura do tomate<sup>#</sup>. Teores de Ca, Mg e K no solo com as respectivas concentrações e as quantidades totais na matéria sêca da parte aérea do tomate.

Variáveis		Coefficiente r	Regressão linear
Solo (x)	Tomate (y) (parte aérea)		
Ca trocável	x concentração de Ca	0,204	não significativa
Ca "	x total de Ca	0,965**	$y = 19,88 + 0,7556x^*$
Mg "	x concentração de Mg	0,842**	$y = 25,46 + 20,69x^{***}$
Mg "	x total de Mg	0,918**	$y = 3,886 + 6,243x^{***}$
K "	x concentração de K	-0,097	não significativa
K "	x total de K	0,069	" "
Ca/Mg trocáveis	x Ca/Mg	0,790**	$y = 0,247 + 0,2915x^{**}$

# Todos os cálculos feitos a partir de dados em miliequivalentes.

\*\*\* - Significativo a uma probabilidade de 0,001

\*\* - Significativo a uma probabilidade de 0,01

\* - Significativo a uma probabilidade de 0,05

QUADRO 26. Correlações da matéria sêca da parte aérea da segunda cultura do tomate com o índice de saturação de cations do solo e com os teores de Ca, Mg e K na parte aérea do tomate<sup>#</sup>.

Variáveis		Coefficiente r	Regressão linear
(y)	(x)		
1) Matéria sêca	x índice de saturação	0,733**	y = 0,61 + 1,24x*
2) " "	x total de Ca	0,881**	y = 0,21 + 1,00x***
3) " "	x concentração de Ca	-0,137	não significativa
4) " "	x total de Mg	0,533	" "
5) " "	x concentração de Mg	0,053	" "
6) " "	x Ca/Mg do tomate	-0,110	" "
7) " "	x total de K	0,146	" "
8) " "	x concentração de K	0,973	y = 19,4 + 1,760x***

<sup>#</sup> Todos os dados são da segunda cultura do tomate. A matéria sêca foi tomada em gramas e Ca, Mg e K em miliequivalentes.

\*\*\* - Significativo a uma probabilidade de 0,001

\*\* - Significativo a uma probabilidade de 0,01

\* - Significativo a uma probabilidade de 0,05

Entre os coeficientes r há diferença significativa (a 5%) apenas entre os pares 1) e 2).