

FRANCISCO DE ASSIS BRAGA

EFEITO DO GESSO AGRÍCOLA NO CRESCIMENTO INICIAL E NA NUTRIÇÃO MINERAL DO *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO

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

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1991

FRANCISCO DE ASSIS BRAGA

EFEITO DO GESSO AGRÍCOLA NO CRESCIMENTO INICIAL E NA NUTRIÇÃO MINERAL DO *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO

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

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1991

INSTITUTO DE ASSIS BRAGA

ESTO NO CASO NÃO SE ENQUADRA NO CONCEITO DE BENS PÚBLICOS
DE ACORDO COM O ART. 170, III, DA CONSTITUIÇÃO DE 1988
NÃO DEVE SER REQUERIDO

Tratando-se de bens públicos, a Administração Pública não pode aliená-los sem a observância do art. 170, III, da Constituição de 1988, sob pena de responsabilidade civil e criminal.

[REDACTED]



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1991

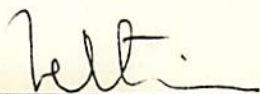
FRANCISCO DE ASSIS BRAGA

EFEITO DO GESSO AGRICOLA NO CRESCIMENTO INICIAL
E NA NUTRIÇÃO MINERAL DO *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden,
SOB DIFERENTES NIVEIS DE IRRIGAÇÃO.

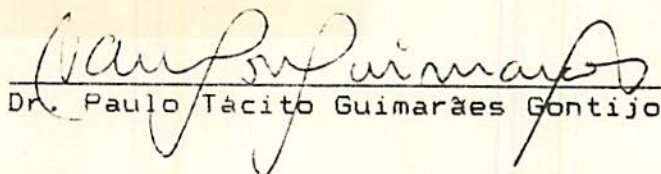
Aprovada:



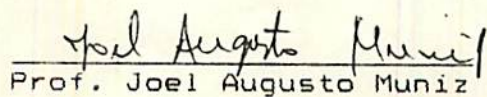
Prof. Dr. Fabiano Ribeiro do Vale
Orientador



Prof. Dr. Nelson Ventorim



Dr. Paulo Tácito Guimarães Gontijo



Prof. Joel Augusto Muniz

A Lenira e Rafael,

com amor.

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras, particularmente ao Departamento de Ciência do Solo, pelo acolhimento e oportunidade de realizar o curso. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

A Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara (CAF), na pessoa dos seus profissionais Walter Suiter Filho e Paulo Roberto de Oliveira Macedo, pelo apoio técnico e financeiro.

Ao Professor Fabiano Ribeiro do Vale, pela orientação, apoio, estímulo, e sobretudo, confiança e amizade, no decorrer do curso.

Aos Professores Antônio Marciano da Silva, Pedro Castro Neto, José Maria de Lima, Valdemar Faquin, Geraldo Guedes e René Rigitano; e ao Pesquisador Paulo Tácito Gontijo Guimarães, pela colaboração e consideração.

Ao João Batista Corrêa (chefe dos laboratórios), aos laboratoristas João Gualberto, Delanne, Ana Maria, Elaise e Jairo, e aos funcionários "Pezão" e José Arcanjo, pelos serviços prestados.

Ao graduando Paulo Roberto de Melo, pela valiosa colaboração na montagem e condução do experimento.

Ao funcionário da EPAMIG, Evaristo Ribeiro dos Santos, prestativo e amigo, pela ajuda no preparo do material de solo.

Aos colegas de curso, pela convivência e amizade.

A minha esposa Lenira, pela compreensão, carinho e apoio no dia a dia.

Ao Pai, ao Filho Jesus e ao Espírito Santo do Senhor, "meu Senhor e meu Deus", que ilumina o caminho e abre os olhos dos cegos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

FRANCISCO DE ASSIS BRAGA, filho de José Cupertino Braga e Laurita Filomena Braga, nasceu em Rio Acima, Estado de Minas Gerais, aos 17 dias de janeiro de 1958.

Concluiu os estudos secundários no Instituto Padre Machado, Belo Horizonte, em 1975.

Em agosto de 1982 ingressou-se no Curso de Engenharia Florestal da Escola Superior de Agricultura de Lavras, graduando-se em dezembro de 1986.

Iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura de Lavras em fevereiro de 1986, defendendo tese em fevereiro de 1991.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REFERENCIAL TEORICO.....	04
2.1. O Cálcio como nutriente mineral para as plantas.....	04
2.1.1. As principais funções do cálcio e a sua aquisição pelas plantas.....	04
2.1.2. Desordens relacionadas com a deficiência do cálcio nos tecidos vegetais.....	06
2.1.3. Níveis críticos de cálcio no solo para o crescimento das plantas.....	08
2.2. Efeito do gesso no solo e na planta.....	12
2.2.1. Dinâmica do gesso no solo.....	12
2.2.2. Efeito do gesso no solo.....	18
2.2.3. Efeitos do gesso no crescimento e na nutrição mineral das plantas.....	23
3. HIPOTESE.....	26
4. MATERIAL E METODOS.....	27
4.1. Material de solo e vasos.....	27
4.2. Caracterização física e química do solo.....	28

4.3. Mudas.....	30
4.4. Tratamentos e delineamento experimental.....	31
4.5. Condução do experimento.....	31
4.6. Características avaliadas.....	34
4.7. Análise estatística.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1. Efeito dos tratamentos no solo.....	37
5.2. Efeito dos tratamentos na planta.....	48
5.2.1. Efeito dos níveis de irrigação no crescimento do <i>Eucalyptus grandis</i>	48
5.2.2. Efeito dos níveis de irrigação na nutrição mineral do <i>Eucalyptus grandis</i>	54
5.2.3. Efeito do gesso no crescimento do <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i>	71
5.2.4. Efeito do gesso na nutrição mineral do <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i>	75
6. CONCLUSÕES.....	94
7. RESUMO.....	96
8. SUMMARY.....	99
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	101
APENDICE.....	119

LISTA DE QUADROS

- QUADRO 01 - Resultados da análise textural e densidade de partículas do material de Latossolo Vermelho-Escuro (médias de 5 repetições)..... 29
- QUADRO 02 - Retenção de umidade, em porcentagem do peso seco, do material de Latossolo Vermelho-Escuro (médias de 5 repetições)..... 29
- QUADRO 03 - Resultados da análise química do material de Latossolo Vermelho-Escuro (médias de 5 repetições)..... 30
- QUADRO 04 - Adubação básica aplicada ao solo da camada de 0-10cm, antes do plantio(g/coluna)..... 32
- QUADRO 05 - Quantidades de gesso aplicadas ao solo da camada de 0-10cm (g/coluna), relativas às doses dos tratamentos..... 32
- QUADRO 06 - Quantidades de nitrogênio e potássio aplicadas em cobertura (g/coluna), ao longo do experimento..... 33

QUADRO 07 - Coeficientes de correlação entre os teores médios de sulfato e de cálcio, magnésio ou potássio, em diferentes profundidades no solo, nos 12 tratamentos..... 38

QUADRO 08 - Efeito dos níveis de irrigação e doses de gesso na matéria seca de raízes (em gramas) do *E. grandis*, em diferentes profundidades (médias de 4 repetições)..... 53

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Teores de sulfato no solo em função das doses de gesso, no nível de 8,5 mm de irrigação/dia..... 39
- FIGURA 2 - Teores de sulfato no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9 mm de irrigação/dia..... 39
- FIGURA 3 - Teores de sulfato no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4 mm de irrigação/dia..... 40
- FIGURA 4 - Teores de cálcio no solo em função das doses de gesso, no nível de 8,5 mm de irrigação/dia..... 40
- FIGURA 5 - Teores de cálcio no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9mm de irrigação/dia..... 41
- FIGURA 6 - Teores de cálcio no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4mm de irrigação/dia..... 41
- FIGURA 7 - Teores de magnésio no solo em função das doses de gesso, no nível de 8,5mm de irrigação/dia..... 42

FIGURA 8 - Teores de magnésio no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9 mm de irrigação/dia.....	42
FIGURA 9 - Teores de magnésio no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4 mm de irrigação/dia.....	43
FIGURA 10 - Teores de potássio no solo em função das doses de gesso, nível de 8,5 mm de irrigação/dia.....	43
FIGURA 11 - Teores de potássio no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9 mm de irrigação/dia.....	45
FIGURA 12 - Teores de potássio no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4 mm de irrigação/dia.....	45
FIGURA 13 - Teores de fósforo na camada de 0 - 10 cm do solo em função das doses de gesso.....	47
FIGURA 14 - Produção de matéria seca na parte aérea em função da irrigação.....	49
FIGURA 15 - Crescimento em diâmetro do caule e altura da parte aérea em função da irrigação.....	49
FIGURA 16 - Produção de matéria seca de raízes em função da irrigação.....	50
FIGURA 17 - Produção de matéria seca de raízes a diferentes profundidades no solo, em função da irrigação.....	50
FIGURA 18 - Magnésio total acumulado na parte aérea em função da irrigação.....	56

FIGURA 19 - Zinco total acumulado na parte aérea em função da irrigação.....	56
FIGURA 20 - Manganês total acumulado na parte aérea em função da irrigação.....	57
FIGURA 21 - Boro total acumulado na parte aérea em função da irrigação.....	57
FIGURA 22 - Cobre total acumulado na parte aérea em função da irrigação.....	58
FIGURA 23 - Nitrogênio total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.....	58
FIGURA 24 - Potássio total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.....	59
FIGURA 25 - Cálcio total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.....	59
FIGURA 26 - Enxofre total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.....	60
FIGURA 27 - Fósforo total acumulado na parte aérea em função da irrigação.....	60
FIGURA 28 - Eficiência de utilização do nitrogênio em função da irrigação.....	61
FIGURA 29 - Eficiência de utilização do fósforo em função da irrigação.....	61

FIGURA 30 - Eficiência de utilização do potássio em função da irrigação.....	62
FIGURA 31 - Eficiência de utilização do cálcio em função da irrigação.....	62
FIGURA 32 - Eficiência de utilização do magnésio em função da irrigação.....	63
FIGURA 33 - Eficiência de utilização do boro em função da irrigação.....	63
FIGURA 34 - Eficiência de utilização do cobre em função da irrigação.....	64
FIGURA 35 - Eficiência de utilização do zinco em função da irrigação.....	64
FIGURA 36 - Eficiência de utilização do manganês em função da irrigação.....	65
FIGURA 37 - Eficiência de utilização do enxofre em função da irrigação.....	65
FIGURA 38 - Concentração de nitrogênio nas folhas em função da irrigação.....	66
FIGURA 39 - Concentração de fósforo nas folhas em função da irrigação.....	66
FIGURA 40 - Concentração de potássio nas folhas em função da irrigação.....	67

FIGURA 41 - Concentração de enxofre nas folhas em função da irrigação.....	67
FIGURA 42 - Concentração de zinco nas folhas em função da irrigação.....	68
FIGURA 43 - Concentração de cobre nas folhas em função da irrigação.....	68
FIGURA 44 - Concentração de magnésio nas folhas em função da irrigação.....	69
FIGURA 45 - Concentração de manganês nas folhas em função da irrigação.....	69
FIGURA 46 - Concentração de cálcio nas folhas em função da irrigação e das doses de gesso.....	70
FIGURA 47 - Produção de matéria seca na parte aérea em função das doses de gesso e da irrigação.....	72
FIGURA 48 - Altura das plantas em função das doses de gesso.....	72
FIGURA 49 - Fósforo total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.....	77
FIGURA 50 - Zinco total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.....	77
FIGURA 51 - Boro total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.....	78

FIGURA 52 - Eficiência de utilização do zinco em função das doses de gesso.....	78
FIGURA 53 - Concentração de boro nas folhas em função das doses de gesso.....	80
FIGURA 54 - Concentração de potássio nas folhas em função das doses de gesso.....	80
FIGURA 55 - Eficiência de utilização do potássio em função das doses de gesso.....	81
FIGURA 56 - Cobre total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.....	81
FIGURA 57 - Manganês total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.....	83
FIGURA 58 - Magnésio total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.....	83
FIGURA 59 - Eficiência de utilização do cobre em função das doses de gesso.....	84
FIGURA 60 - Eficiência de Utilização do cálcio em função das doses de gesso.....	84
FIGURA 61 - Eficiência de utilização do magnésio em função das doses de gesso.....	85
FIGURA 62 - Concentração de manganês nas folhas em função das doses de gesso.....	85

FIGURA 63 - Concentração de cobre nas folhas em função das doses de gesso.....	86
FIGURA 64 - Concentração de magnésio nas folhas em função das doses de gesso.....	86
FIGURA 65 - Relação Ca/Mg nas folhas em função das doses de gesso e da irrigação.....	89
FIGURA 66 - Relação Ca/K nas folhas em função das doses de gesso e da irrigação.....	89
FIGURA 67 - Relação K/Mg nas folhas em função das doses de gesso e da irrigação.....	92

1. INTRODUÇÃO

O *Eucalyptus grandis* é uma espécie detentora de qualidades que a levam a ter grande aceitação e preferência para plantios comerciais. Dentre essas qualidades estão a desrama natural, originando fuste liso e colunar e o rápido crescimento, superando a maioria das espécies de eucalipto, quando as condições ambientais lhe são adequadas. Sua madeira é excelente para celulose, boa para serraria, podendo ser usada também para a produção de carvão vegetal (GOLFARI et alii, 1978).

Grande parte das áreas utilizadas para reflorestamento com eucalipto no Brasil apresenta solos de fertilidade natural extremamente baixa, principalmente no subsolo, além de uma distribuição irregular de chuvas, que pode ocasionar déficit hídrico acentuado. Essas características ecológicas levam a deficiências nutricionais, notadamente de cálcio e boro, seca de ponteiro e de copa, e às vezes, até a morte da planta (SANSIGOLO et alii, 1983; FERREIRA, 1986; NOVAIS et alii, 1990). Tais problemas ocorrem, particularmente, em plantios de *E. grandis*. Espera-se que árvores com sistema radicular bem desenvolvido, extenso e profundo, explorando maior volume de solo para a

aquisição de nutrientes e água possam suportar melhor as condições ambientais adversas.

Dentre os fatores químicos do solo limitantes ao desenvolvimento radicular ressaltam a toxicidade de alumínio e a deficiência de cálcio (LOPES, 1984). O *E. grandis* é altamente tolerante ao alumínio (NEVES et alii, 1982), enquanto informações relativas ao nível crítico de cálcio no solo para o crescimento radicular não são disponíveis na literatura, segundo NOVAIS et alii (1990). Esses mesmos autores acreditam, no entanto, na possibilidade de restrição ao desenvolvimento radicular do eucalipto em profundidade, haja vista os valores extremamente baixos de cálcio trocável no subsolo de grande parte das áreas utilizadas em reflorestamento no Brasil.

O cálcio apresenta baixa mobilidade no floema, tendendo a acumular-se nos tecidos com a idade. Desta forma, é necessário um suprimento contínuo desse nutriente na solução do solo para o desenvolvimento das partes jovens da planta. É o caso das raízes, onde vários trabalhos já demonstraram que o fornecimento de cálcio a determinada porção do sistema radicular não evita a morte da porção colocada em meio deficiente nesse nutriente (HAYNES & ROBBINS, 1948; RIOS & PEARSON, 1964; HOWARD & ADAMS, 1965; CANAL & MIELNICZUK, 1983; EMANUELSON, 1984).

O gesso agrícola é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados concentrados e vem sendo estudado como um agente promotor de melhoria das condições químicas de solos ácidos. Ao solubilizar-se, o gesso libera cálcio e sulfato para a solução do solo, e dependendo da quantidade de água e da dose aplicada, os cátions, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , movem-se em

profundidade no solo, acompanhando o ânion sulfato (REEVE & SUMNER, 1972; RITCHEY et alii, 1980). Os dados revelam que a movimentação do cálcio, para subsolos deficientes nesse nutriente, favorece o crescimento radicular em profundidade, bem como da parte aérea das plantas. O calcário não apresenta essa característica, visto que o seu efeito restringe-se, basicamente, à camada de incorporação.

Face ao exposto, o presente trabalho teve como objetivo determinar o efeito do gesso no crescimento e na nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*, cultivado em solo de baixa fertilidade, notadamente em cálcio, sob diferentes níveis de irrigação.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1. O Cálcio como nutriente mineral para as plantas

2.1.1. As principais funções do cálcio e a sua aquisição pelas plantas

A manutenção da integridade e permeabilidade das membranas celulares parece ser a principal função do cálcio, controlando a absorção iônica e a compartimentalização na célula (EPSTEIN, 1975). Além desta função, esse nutriente é importante constituinte da parede celular, de enzimas e na ação de fitohormônios (BANGERTH, 1979).

A absorção do cálcio pelas raízes só ocorre nas regiões apicais, nas quais não houve a completa formação das estrias de Caspary (MENGEL & KIRKBY, 1987). O cálcio penetra pelo córtex da raiz, via apoplasto, até atingir os vasos do xilema, sendo portando, um processo basicamente passivo (FERGUSON & CLARKSON 1976). O transporte via simplasto quase não se verifica, devido à baixa atividade do cálcio no citoplasma (CLARKSON & HANSON,

1980). Posto isso, nota-se que a absorção do cálcio é afetada pela localização (posição) e idade das raízes, sendo que naquelas mais velhas a absorção cai grandemente (FOY, 1974b). Portanto, a taxa de absorção do cálcio está intimamente associada com a emissão de novas raízes, provendo, desta forma, sítios mais favoráveis à sua absorção (AL-ANI & KOONTZ, 1969).

O transporte do cálcio para a parte aérea, via xilema, é controlado, basicamente, pela intensidade transpiratória. O movimento descendente, por sua vez, seja na parte aérea ou radicular, é praticamente desprezível, devido ao transporte insignificante do cálcio no floema. Conseqüentemente, há uma tendência de acúmulo de cálcio nos tecidos mais velhos (MENGEL & KIRKBY, 1987).

O transporte descendente do cálcio na planta não foi suficiente para permitir o crescimento de raízes, em meio deficiente nesse nutriente (HAYNES & ROBBINS, 1948; RIOS & PEARSON, 1964; CANAL & MIELNICZUK, 1983; EMANUELSON, 1984), bem como a redistribuição do mesmo, de folhas mais velhas para os pontos de crescimento da parte aérea não foi suficiente para evitar os sintomas de deficiência nutricional (LONERAGAN & SNOWBALL, 1969). Portanto, pode-se inferir da necessidade de um suprimento contínuo de cálcio na solução do solo para um perfeito crescimento das partes terminais mais jovens da planta.

O *Eucalyptus saligna*, aos onze anos de idade, apresentou uma absorção média anual de 130,7 Kg de Ca/ha, do qual 66,3% ficou retido na biomassa e 33,6% retornou ao solo pela deposição de material vegetal. O cálcio foi o nutriente mineral mais absorvido e, no caso de exploração da floresta, seria o mais

exportado, visto que somente os troncos representariam 551,3 Kg de Ca/ha (POGGIANI, 1985). Tais dados caracterizam a pouca redistribuição do cálcio na planta, sendo o mesmo imobilizado nos tecidos com a idade, conforme mencionado anteriormente.

2.1.2. Desordens relacionadas com a deficiência do cálcio nos tecidos vegetais

A presença de outros cátions no substrato, como K^+ , Mg^{2+} ou H^+ , dependendo de suas concentrações, pode deslocar o cálcio de seus sítios de ligação nas membranas. Segundo BANGERTH (1979), tal fenômeno traz como consequência uma redução na estabilidade e seletividade das membranas celulares, seguidas de um aumento na permeabilidade e no efluxo de íons nas mesmas. Desta forma, esse mesmo autor propõe que as relações entre o cálcio e os outros cátions no substrato são importantes, não somente no processo de absorção do cálcio, devido ao chamado antagonismo, mas também na regulação da estabilidade e permeabilidade das membranas, influenciando, decisivamente, na nutrição mineral da planta.

A deficiência de cálcio envolve distúrbios na divisão, alongação e diferenciação celular, além de anormalidades cromossômicas e susceptibilidade à infecção por fungos. (FOY, 1974 b; EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA, 1980).

O processo de divisão celular aparentemente tem um pequeno, mas específico, requerimento por cálcio, o qual está associado com a diferenciação de organelas no citoplasma. Para

que ocorra a divisão celular em raízes de trigo é requerido 0,04 ppm de cálcio na solução, sendo necessário, no entanto, 0,40 ppm para a alongação, e ainda maiores concentrações para a desintoxicação com o íon H^+ (BURGSTROM, 1968).

Embora todos os pontos de crescimento da planta sejam sensíveis a deficiência de cálcio, os das raízes são mais afetados, cessando o crescimento e tornando-se desorganizados, escuros e quando a deficiência é severa, morrem (EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA, 1980). Torna-se evidente, portanto, a necessidade de uma distribuição uniforme e em níveis adequados de cálcio no perfil do solo para obter-se um crescimento normal de raízes (BANGERTH, 1979).

A elevação dos níveis de cálcio em subsolos deficientes nesse nutriente favorece um rápido e profundo desenvolvimento do sistema radicular, trazendo como benefício o maior suprimento de água para a planta, e um contínuo fornecimento de cálcio para os meristemas (EMANUELSON, 1984). É conveniente ressaltar que a deficiência de cálcio pode, algumas vezes, reduzir mais o crescimento da parte aérea do que o das raízes (JACKSON & EVANS, 1963).

No caso do eucalipto, SANSIGOLO et alii (1983) relatam que a seca de folhas é um dos principais sintomas de deficiência nutricional, sendo atribuída a baixos teores de cálcio e/ou magnésio, ou a altos teores de manganês no solo. BARROS et alii (1990) relatam a ocorrência de seca de ponteiro em plantios de eucalipto nas regiões com período seco prolongado. Segundo estes autores, há evidências de que tal sintoma, além de outros como a formação de falsos anéis de crescimento e falso cerne, estejam

relacionados com uma deficiência temporária de cálcio, devido a um transporte insuficiente desse nutriente, a nível de solo e de planta.

2.1.3. Níveis críticos de cálcio no solo para o crescimento das plantas

Embora os solos variem grandemente quanto ao seu conteúdo de cálcio disponível para as plantas, a deficiência absoluta desse nutriente geralmente não é o principal fator a limitar o crescimento, exceto naqueles arenosos, ácidos ou com baixa CTC. Na ausência de elementos tóxicos, a maioria dos solos pode suprir adequadamente o cálcio para as plantas (ADAMS & PEARSON, 1967). Tal fato foi comprovado por VARGAS et alii (1983), cultivando o milho em 12 amostras de solos representativos do estado do Rio Grande do Sul. Apesar das diferenças químicas e físicas existentes entre os solos estudados, o cálcio suprido por fluxo de massa à superfície das raízes, excedeu a quantidade absorvida pelas plantas. A interceptação radicular também contribuiu de maneira significativa (em média 35%), considerando-se o cultivo em vasos.

Todavia, o crescimento de raízes em subsolos ácidos pode ser inibido pela deficiência de cálcio e/ou pela toxicidade de Al (RITCHEY et alii, 1982). Essa limitação química restringe o volume de solo explorado pelo sistema radicular para a absorção de água e nutrientes (LOPES, 1984). Amostragens a diferentes profundidades, em perfis de latossolos do Brasil Central,

demonstraram uma relação direta entre o crescimento radicular e o teor de cálcio trocável (RITCHEY et alii, 1982; GOEDERT et alii, 1985; SOUZA & RITCHEY, 1986).

No estudo de 48 perfis de solos, representativos da região de Brasília, COCHRANE (1989) detectou a deficiência de cálcio somente naqueles sob vegetação de cerrado, embora tenha encontrado também níveis elevados de cálcio nessa condição. Dentre os 38 perfis sob cerrado avaliados, 18 deles (47%) eram deficientes em cálcio no horizonte B₂. Segundo esse autor, a pouca emissão de raízes em profundidade, associada às baixas produtividades das culturas naquela região, pode ser frequentemente causada pela deficiência de cálcio no subsolo. COCHRANE (1989) relata ainda que as relações Ca/Mg encontradas nos solos sob cerrado (0,7 a 0,9), foram menores do que aquelas observadas sob cobertura florestal (3,0 a 3,1). De acordo com o mesmo autor, essa relação foi mais importante do que a deficiência do cálcio em si, como um critério para a separação entre as duas classes de vegetação.

Com relação a níveis críticos de cálcio para o crescimento radicular, RITCHEY et alii (1983) propõem um método biológico, baseado no crescimento de raízes, para a avaliação de amostras de solo. O valor crítico para o crescimento de raízes de trigo situou-se entre 0,02 e 0,05 meq de Ca²⁺/100 g de solo (4 e 10 ppm), sendo que a adição de 0,20 meq de Ca²⁺/100 g de solo foi suficiente para o crescimento radicular (RITCHEY et alii, 1983; DIAS et alii, 1985). Para o capim andropogon, o nível crítico foi ainda menor que 0,02 meq de Ca²⁺/100 g de solo (GOEDERT et alii, 1985). A batatinha emitiu mais tubérculos quando da aplicação de

cálcio em solo que continha inicialmente 0,20 meq de Ca^{2+} /100 g (SILVA et alii, 1987).

Para as espécies florestais, KHANA & ULRICH (1984) sugerem o valor de 5% de saturação da CTC efetiva com cálcio como nível potencialmente crítico, abaixo do qual pode ocorrer a fitotoxicidade de alumínio. BRUCE et alii (1988) trabalhando com 21 amostras de solos, cultivados com soja, obtiveram 0,45 meq de Ca^{2+} /100 g como teor crítico para o desenvolvimento de raízes, ou 11% de saturação da CTC efetiva. Para o algodoeiro, HOWARD & ADAMS (1965) obtiveram em dois subsolos um valor entre 12 e 13% de saturação com cálcio. Já ADAMS & MOORE (1983) encontraram o valor de 17% para essa mesma planta, enquanto ADAMS & HATHCOCK (1984) não conseguiram identificar dentre 6 solos, aqueles deficientes em cálcio.

Analisando a composição química da solução do solo, HOWARD & ADAMS (1965) e ADAMS (1966) propuzeram a relação de atividades molares cálcio/cátions totais menor do que 0,15 como o nível crítico para o crescimento de raízes de algodoeiro. LUND (1970) encontrou um intervalo de relação de atividades molares $\text{Ca}/\text{Ca}+\text{Mg}+\text{k}$ de 0,10 a 0,20 e 0,05 para a relação $\text{Ca}/\text{Ca}+\text{Mg}$, no crescimento de raízes de soja em solução nutritiva. Já BRUCE et alii (1988) obtiveram o valor 0,05 para a relação de atividades $\text{Ca}/\text{Ca}+\text{Mg}+\text{K}+\text{Na}$ na solução do solo, cultivado com soja. Essas relações vêm corroborar da importância do balanço catiônico no substrato para o desenvolvimento da planta (BANGERTH, 1979; MALAVOLTA, 1980), bem como para o seu requerimento de cálcio (WALLACE et alii, 1966).

Para o eucalipto, NOVAIS et alii (1990) afirmam que informações relativas ao nível crítico de cálcio para o crescimento radicular ainda não são disponíveis. Entretanto, argumentam que a emissão de raízes em profundidade pelo eucalipto pode ser inibida, visto que grande parte dos solos utilizados em reflorestamento apresenta teores extremamente baixos de cálcio trocável. Isto acarretaria problemas físicos de sustentação da árvore e menor absorção de água na estação seca.

Todavia, NEVES et alii (1990) mencionam os resultados de trabalho, o qual relata o crescimento de raízes de eucalipto de maneira semelhante em solo com teores de cálcio variando de níveis próximos a zero até 0,60 meq de $\text{Ca}^{2+}/100 \text{ g}$, este último considerado como não limitante. Na perspectiva dos autores, o fato deve-se, pelo menos em parte, a não imposição de restrição hídrica.

A evolução e conseqüente adaptação do eucalipto às condições de solos ácidos e distróficos aparentemente o tornaram pouco exigente em cálcio, magnésio e potássio (NOVAIS et alii, 1985), e altamente tolerante ao alumínio (NEVES et alii, 1982). Especificamente no caso do cálcio e do *Eucalyptus grandis*, uma série de trabalhos envolvendo a fertilização de mudas (NOVAIS et alii, 1979 e NOVAIS et alii 1980 a,b; BARROS et alii, 1981) levaram BARROS et alii (1982) e NOVAIS et alii (1986) a propor o valor de 0,20 meq de $\text{Ca}^{2+}/100 \text{ cm}^3$ solo como crítico para o crescimento inicial daquela espécie. Este dado coaduna com observações de campo, onde a resposta à calagem foi obtida somente em solos com $\text{Ca}+\text{Mg}$ trocáveis em torno de 0,40 meq/100 g de solo (SIF, 1980, citado por BARROS et alii, 1982).

Apesar da baixa exigência do eucalipto quanto à fertilidade do solo, KHANA & ULRICH (1984) e POGGIANI (1985) advertem para a tendência de se plantar florestas em solos extremamente pobres em nutrientes, notadamente o cálcio. Segundo os mesmos autores, tais solos poderão conter reservas minerais insuficientes para sustentar um bom crescimento das árvores sob um manejo intensivo, envolvendo sucessivos cortes rasos.

2.2. Efeito do gesso no solo e na planta

2.2.1. Dinâmica do gesso no solo

A incorporação profunda de corretivos da acidez encontra problemas, tais como a falta de equipamento apropriado e o alto consumo de energia. Posto isto, a lixiviação de nutrientes, principalmente o cálcio, tem sido estudada como alternativa viável para se aumentar a profundidade do sistema radicular (LOPES, 1984). A baixa CTC do solo e a alta precipitação na região dos cerrados reúnem condições potenciais para que sais solúveis de cálcio possam ser lixiviados abaixo da camada arável, melhorando o ambiente químico aí presente (RITCHEY et alii, 1980). Esta idéia, já havia sido estudada anteriormente por RIRIE et alii (1952), nos Estados Unidos, por REEVE & SUMNER (1972), na África do Sul.

A lixiviação de íons através do solo é descrita por RAIJ (1986) e envolve um processo interessante. Segundo esse autor, a maioria dos solos apresenta carga líquida negativa na superfície das partículas, as quais são equilibradas por cátions

(contra-íons) da solução do solo. Além de cátions na solução, existem também ânions (co-íons), os quais requerem uma quantidade adicional de cátions para a manutenção da eletroneutralidade, definindo, portanto, a concentração de sais na solução do solo. Quando a água percola através do solo, os sais livres podem ser arrastados, ocorrendo a lixiviação de íons. Neste caso, como os ânions não são retidos pelas cargas negativas do solo, movimentam-se com a água e trazem consigo quantidade equivalente de cátions, mantendo a eletroneutralidade do sistema. Assim, segundo RAIJ (1986), na maioria dos solos, os ânions podem ser considerados como os carreadores de cátions. Esse autor conclui ainda que a lixiviação de cátions no solo dependerá, portanto, do tipo de ânion, teor de cada cátion (relação catiônica), bem como do cátion considerado (série liotrópica).

RITCHEY et alii (1980) estudaram a movimentação em profundidade de diferentes sais de cálcio, aplicados à superfície de colunas de solo e submetidas à percolação de água. O CaCO_3 apresentou pouca movimentação devido a reação do carbonato com os íons H^+ do solo, não havendo, portanto, um ânion acompanhante livre para a lixiviação do cálcio (REEVE & SUMNER, 1972). No caso do CaCl_2 , RITCHEY et alii (1980) observaram rápida e intensa movimentação em profundidade, a qual foi atribuída a alta solubilidade do sal (2.000 Kg de Ca/ha se dissolvem com o equivalente a 1 mm de precipitação), aliada a não reatividade do cloreto com a superfície do solo. Já o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ apresentou uma lixiviação intermediária, devido a sua menor solubilidade (226 mm de água para 2000 Kg de Ca/ha), e a maior reatividade do sulfato com o solo, reduzindo a sua taxa de descida no perfil. A

velocidade de movimentação do sal é um fator importante, pois determinará o tempo no qual os nutrientes permanecerão ao alcance das raízes (ALCARDE, 1988).

O gesso agrícola - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - é um sub-produto da indústria de fertilizantes fosfatados concentrados e contém 26 a 28 % de CaO ; 15 a 16% de S; 0,60 a 0,75% de P_2O_5 ; 1,26% de SiO_2 ; 0,63 de F; e 0,37% de $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (VITTI et alii, 1986). Sua solubilidade é de aproximadamente 2,5 g litros (RAIJ, 1988).

O gesso no solo se solubiliza em velocidade que depende da dose aplicada e da quantidade de água adicionada (SOUZA & RITCHEY, 1986). Para uma camada de 20 cm de profundidade, e que tenha 30% de capacidade máxima de reter água, a quantidade máxima de gesso solubilizável seria em torno de 0,8 meq de gesso/100 cm^3 de solo, ou seja, 1,6 ton/ha. Desta forma, segundo RAIJ (1988), o gesso aos poucos se solubiliza e desce através do perfil do solo, podendo ocorrer concentrações maiores por precipitação de sulfato de cálcio, caso haja remoção de água pelas raízes ou evaporação superficial. DIAS et alii (1984) trabalhando com colunas de PVC, preenchidas com solo, relatam uma maior movimentação de cálcio e magnésio em profundidade, quando da aplicação de maiores quantidades de gesso e/ou água.

Eletrólitos fortes, quando dissolvidos em água, não se dissociam completamente em seus componentes iônicos, mas, devido à forte atração cátion-ânion, uma parte permanece na forma de par-iônico. Ânions, como SO_4^{2-} e HPO_4^{2-} , formam pares iônicos com cátions, enquanto o NO_3^- , muito pouco, e o Cl^- , aparentemente, não forma par-iônico. Assim a dissolução do

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ produz os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , além do par-iônico neutro CaSO_4^0 (ADAMS, 1971; 1974).

O Ca^{2+} liberado pelo gesso participa de reações de troca com os cátions do complexo sortivo do solo, deslocando parte deles para a solução do solo, onde também permanece parte do Ca^{2+} . Da mesma forma, o SO_4^{2-} pode permanecer como ânion livre, ser adsorvido na superfície dos minerais de argila ou formar pares-iônicos solúveis, neutros ou de menor valência, com os cátions da solução (CaSO_4^0 ; MgSO_4^0 ; K_2SO_4^0 ; KSO_4^- ; AlSO_4^+). Esses pares favoreceriam, pelo menos em parte, a mobilidade dos íons no solo (PAVAN & VOLKWEISS, 1986).

No entanto, DAL BO et alii (1986 a) afirmam que os pares-iônicos são de pouca importância para a mobilidade dos íons no solo, visto que observaram uma maior movimentação do magnésio em relação ao cálcio, na presença de sulfato, apesar da menor tendência do primeiro em formar par-iônico com o citado ânion. Por outro lado, segundo RAIJ (1988), em uma condição de equilíbrio termodinâmico em solução envolvendo várias espécies químicas, não seria possível que determinadas espécies fossem removidas, pois toda a situação de equilíbrio se romperia. Nesta perspectiva, esse autor também considera incorreta a hipótese de que os pares-iônicos seriam os responsáveis pela movimentação dos íons no solo.

É necessário conhecer as propriedades do solo que afetam a lixiviação do gesso, para que seja possível controlar o processo de forma a manter o sal ao alcance das raízes (RAIJ, 1988). As cargas elétricas do solo têm um efeito importante na lixiviação do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, sendo o SO_4^{2-} mais retido com o

abaixamento do pH, o contrário se verificando para o Ca^{2+} (CAMARGO & RAIJ, 1989).

Os teores de argila, óxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica e a presença de outros ânions afetam, decisivamente, a adsorção do sulfato e conseqüentemente a sua mobilidade no solo (COUTO et alii, 1979; FASSBENDER, 1986). O cation acompanhante também influe na adsorção do sulfato, na seguinte ordem: $\text{Na}_2\text{SO}_4 < (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 < \text{K}_2\text{SO}_4 < \text{CaSO}_4$ (FASSBENDER, 1986; MARCANO-MARTINEZ & McBRIDE, 1989).

Em geral, a retenção do sulfato é menor na camada arável do solo, pelas seguintes razões : (1) a maior eletronegatividade, devido aos maiores teores de matéria orgânica; (2) o pH mais elevado; (3) a presença de maiores teores de fosfato, preferencialmente adsorvido em relação ao sulfato. Já em subsolo ácido, pode-se esperar uma maior retenção do sulfato e um considerável retardamento na sua movimentação no perfil (COUTO et alii, 1979; RAIJ, 1988). Os dados de COUTO et alii (1979) e COSTA (1980) revelam quantidades de sulfato retidas entre 0,2 e 0,9 meq de $\text{SO}_4^{2-}/100$ g de solo no horizonte Ap, contra 0,6 a 1,3 no horizonte B₂. Outro aspecto que merece ser relatado é a diminuição na quantidade de sulfato recuperado com o passar do tempo, sendo o fenômeno atribuído a alterações na natureza da adsorção (KIEL & FRANCO, 1984; BOLAN et alii, 1986).

Em suma, a persistência do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ no solo vai depender: (1) da taxa de dissolução; (2) da quantidade adicionada; (3) e do balanço entre adsorção e dessorção. Após atingida a capacidade de adsorção pelo solo, o sulfato solúvel adicional estará presente temporariamente e, com a percolação da

água, se moverá para baixo no perfil, trazendo consigo cátions da solução do solo (RITCHEY et alii, 1980). A medida que a quantidade de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ decresce na camada de incorporação, o suprimento das camadas subjacentes irá diminuir, até que o solo contenha apenas o sulfato adsorvido e, sob condição de suprimento contínuo de água, mesmo este sulfato adsorvido será desorvido e lixiviado para as camadas mais profundas. A extensão do processo de desorção é que irá determinar quão permanente será a mudança das características químicas do solo, por uma única adição de gesso (COUTO et alii, 1979).

Alguns dados de campo demonstram que o processo de movimentação do gesso é lento, tendo sido observadas concentrações significativas de $\text{Ca}+\text{Mg}$ em profundidade de interesse para as plantas, decorridos seis anos após a aplicação do gesso (RITCHEY et alii, 1980). A movimentação média do pulso de SO_4^{2-} em um Latossolo Vermelho-Escuro, onde foram aplicadas 6t gesso/ha, mostrou uma taxa de descida de 0,4 mm de profundidade/mm de lâmina de água, após 1.154 mm de água adicionada (chuva+irrigação). Este valor caiu para 0,3 mm/mm, quando se totalizou 2.276 mm de água, devido, provavelmente, a diferenças na capacidade de adsorção de sulfato entre a camada arável e o subsolo, retardando, com isso, a sua movimentação (SOUZA & RITCHEY, 1986). Esse mesmo comportamento do sulfato já havia sido observado por DURING & COOPER (1974), com uma movimentação de 0,33 mm/mm, para uma lâmina de 3.000 mm de água.

2.2.2. Efeito do gesso no solo

A movimentação do gesso em profundidade altera algumas das características químicas do solo. Um primeiro efeito seria o aumento de concentração salina da solução, possibilitando a formação simultânea de cargas positivas e negativas (RAIJ & PEECH, 1972). Os dados obtidos em perfil de Latossolo Vermelho-Escuro, decorridos 11 meses da aplicação de 6t de gesso/ha, mostraram um aumento de 0,10 a 0,39 meq/100 g solo na carga líquida negativa, entre as profundidades de 15 a 120 cm (SOUZA & RITCHEY, 1986).

Efeito semelhante foi observado por ALVA et alii (1990), detectando aumentos da ordem de 0,2 a 1,4 meq/100 g nas cargas negativas do solo. Esses autores atribuíram o fenômeno à adsorção específica do sulfato, sendo o efeito mais acentuado em subsolos com predomínio de cargas variáveis. No entanto, REEVE & SUMNER (1972) e PAVAN et alii (1984) não detectaram alterações na CTC do solo, com o uso de gesso.

Segundo PAVAN (1983) e PAVAN & VOLKWEISS (1986), a ação do gesso, aplicado em solos ácidos, pode ser sumarizada por um aumento do Ca^{2+} trocável, em detrimento do K^+ , Mg^{2+} e Al^{3+} trocáveis. Naqueles solos contendo muito alumínio trocável, o pH pode manter-se inalterado, ou sofrer uma ligeira queda, dependendo do balanço entre os íons H^+ , oriundos da hidrólise do Al^{3+} , e os íons OH^- , originários da substituição por íons SO_4^{2-} na superfície das argilas e óxidos de ferro e alumínio. Neste caso, há uma tendência para a formação de polímeros de alumínio. Por outro lado, se o solo possui pouco Al^{3+} trocável, o pH

tendera a aumentar na proporção direta da substituição dos íons OH pelos SO_4^{2-} , havendo também uma tendência de aumento da CTC.

O valor do pH em água tende a ser reduzido com a elevação da concentração salina da solução do solo (FASSBENDER, 1986; RAIJ, 1986). Assim, são mais recomendáveis as avaliações de pH em presença de um sal, quando do uso de gesso no solo, obtendo-se maior uniformidade e exatidão nos resultados (QUAGGIO et alii, 1982). Posto isso, QUAGGIO et alii (1982) e BRUCE et alii (1988) não observaram alteração no pH do solo tratado com gesso, quando o mesmo foi medido em solução de CaCl_2 , enquanto SOUZA & RITCHEY (1986) detectaram um ligeiro aumento. Por outro lado, FARINA & CHANNON (1988) não notaram variação no pH em KCl, enquanto NOGUEIRA & MOZETO (1990), uma ligeira diminuição.

A pequena redução do Al^{3+} trocável, normalmente atribuída ao uso do gesso, deve-se à expulsão de parte deste alumínio para a solução do solo, tornando-o passível a: (1) lixiviação (CAMARGO & RAIJ, 1989); (2) polimerização, com os OH^- liberados pela adsorção do SO_4^{2-} (REEVE & SUMNER, 1972); (3) formação de complexos sólidos de sulfato de alumínio (ADAMS & RAWAJFIH, 1977; PAVAN, 1986).

Analisando a água percolada em colunas de solo, SOPRANO & ALVAREZ (1989) obtiveram perdas de 32 a 53 kg de Al/ha. PAVAN et alii (1984) relatam que 3% do Al^{3+} trocável foi lixiviado em 6 meses, após a percolação de aproximadamente 2.770 mm de água em colunas de solo com gesso. Também em colunas, OATES & CALDWELL (1985) observaram um aumento linear no alumínio lixiviado, em função da aplicação de gesso.

Embora a maioria dos resultados de trabalhos com gesso demonstrem a diminuição no Al^{3+} trocável do solo, BLACK & CAMERON (1984), DIAS et alii (1984) e ERNANI (1986) não observaram tal alteração.

A análise da composição química da solução do solo tratado com $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, normalmente apresenta uma elevação no alumínio total, associada também com um aumento do $AlSO_4^+$, em detrimento do Al^{3+} (FRIED & PEECH, 1946; FOY, 1974 b; PAVAN et alii, 1982, 1984; SUMNER et alii, 1986; BRUCE et alii, 1988; NOGUEIRA & MOZETO, 1990). A formação do $AlSO_4^+$ é favorecida por valores mais baixos de pH (NOBLE et alii, 1988), e pode ser importante na nutrição mineral da planta, visto que o $AlSO_4^+$ é considerado pouco fitotóxico, e a sua formação reduz a atividade do Al^{3+} na solução do solo (PAVAN & BINGHAM, 1982; PAVAN et alii, 1982).

A presença do flúor na composição química do gesso agrícola (VITTI et alii, 1986) também favorece a formação de complexos Al-F em solução, reduzindo a atividade e a toxicidade do Al^{3+} (CAMERON et alii, 1986).

O gesso promove uma elevação nos teores de cálcio trocável e na solução do solo, à medida que se move verticalmente no perfil. A elevação no Ca^{2+} trocável ocorre, basicamente, em detrimento de outros cátions trocáveis, particularmente o Mg^{2+} e o K^+ , e em menor quantidade o Al^{3+} , conforme já mencionado anteriormente. Desta forma, o gesso praticamente não altera a saturação em bases do complexo de troca, a propósito também de que pequena ou nenhuma alteração na CTC se verifica (REEVE & SUMNER, 1972; PAVAN et alii, 1984). Portanto, segundo RAIJ

(1988), a redução na saturação em alumínio ou o aumento na saturação em bases, normalmente atribuídos ao gesso, devem ser cuidadosamente analisados, pois o que ocorreria na realidade seria apenas uma diluição do alumínio pelo $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, não podendo ser interpretado como uma diminuição da acidez ou do alumínio. Entretanto, ALVA et alii (1990) atribuem a melhoria das condições de solos ácidos, tratados com gesso, a combinação de: (1) indução de cargas negativas, devido à adsorção específica do sulfato; (2) aumento da saturação em bases, notadamente com cálcio; (3) decréscimo do alumínio trocável.

Como relatado anteriormente para o alumínio, os outros cátions da solução do solo também são passíveis de movimentação em profundidade. Segundo RITCHEY et alii (1980), a sequência de intensidade de lixiviação de bases do solo com gesso é: $\text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$, sendo que todas elas se movem apresentando pulsos de acumulação. SOPRANO & ALVAREZ (1989) observaram na água percolada de colunas de solo tratado com gesso a relação Ca:Mg, em equivalentes, de 1,6:1,0, de uma relação inicial no solo de 4:1. A lixiviação total atingiu 12,6 e 38,0% do cálcio e do magnésio adicionados ao solo, respectivamente.

A elevação nos teores de cálcio e a redução nos de potássio e magnésio normalmente promove desequilíbrios entre estes três nutrientes nas camadas superficiais do solo. Certamente, isto é um fator desfavorável para o crescimento e a nutrição mineral das plantas. Recomenda-se, inclusive, atenção para com fertilizações suplementares de potássio e magnésio (REEVE & SUMNER, 1972; RITCHEY et alii, 1980; QUAGGIO et alii, 1982; DAL BO et alii, 1986 a,b). O problema tende a ser mais

acentuado em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica, pobres em bases e com baixa CTC (ROSOLEM & MACHADO, 1984), e pode ser minimizado com o uso de doses menores e mais adequadas de gesso (SOUZA & RITCHEY, 1986).

NEVES et alii (1990), sugerem o gesso como fonte alternativa segura de cálcio para o eucalipto, visto que o mesmo se desenvolve satisfatoriamente numa ampla faixa de relações Ca/Mg no solo. SILVA (1986) obteve bom crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* quando essa relação foi, aproximadamente, 1:1. Já NOVAIS et alii (1979; 1990) afirmam, para essa mesma espécie, que a relação Ca/Mg no solo pode ser relativamente alta, com os teores de magnésio trocável tendendo a zero.

Segundo NOVAIS et alii (1990), dados de campo revelam que para o eucalipto a relação Mg/K no solo deve merecer maior atenção do que as relações Ca/Mg. Porém, BARROS et alii (1981) e NOVAIS et alii (1980 b) ressaltam que relações Ca/Mg próximas a um, ou a soma Ca+Mg trocáveis relativamente alta (0,8 meq/100g), requerem maiores quantidades de potássio no solo para, satisfazer às necessidades do eucalipto.

A análise química da solução do solo revela que outros cátions, além do Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , têm as suas concentrações solúveis elevadas, significativamente, com o uso do gesso. É o caso do sódio (BRUCE et alii, 1988; NOGUEIRA & MOZETO, 1990), do ferro e do manganês (FRIED & PEECH, 1946; FOY, 1974 b).

2.2.3. Efeitos do gesso no crescimento e na nutrição mineral das plantas

A adição de gesso a solos que apresentam limitações de natureza química para o desenvolvimento de raízes, pode propiciar um melhor crescimento e distribuição das mesmas em profundidade. Como benefício, obtem-se uma maior eficiência na absorção de nutrientes, como o $N-NO_3^-$, e de água, explorando-se um maior volume de solo (SOUZA & RITCHEY, 1986).

As raízes do milho atingiram 120 cm de profundidade em tratamento que recebeu superfosfato simples (contém gesso), enquanto chegaram somente a 45 cm, naquele com superfosfato triplo (RITCHEY et alii, 1980). Também para o milho, FARINA & CHANNON (1988) observaram um aumento na densidade de raízes no subsolo e concluíram que a aplicação superficial do gesso ao solo é viável para melhorar as condições do subsolo. Na opinião de CARVALHO et alii (1986), isto se deve mais ao volume de solo corrigido pelo gesso do que aos teores de cálcio em si.

O sistema radicular da macieira apresentou maior densidade de raízes nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-60 cm de profundidade num Inceptisol e num Oxisol, quando do uso do gesso (Pavan & Bingham, 1986; citados por RAIJ, 1988). Sob condições de casa de vegetação, PAVAN et alii (1984) e Chaves et alii (1987), citados por RAIJ (1988), obtiveram maior volume e mais matéria seca de raízes do cafeeiro, quando cultivado em solo com $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. BRUCE et alii (1988) também detectaram um aumento no comprimento das raízes de soja com o uso do gesso.

Para a cana-de-açúcar, cultivada em colunas de solo, sob diferentes doses de gesso (0 a 6 meq de Ca/100 g solo na camada de 0-15 cm) e submetidas a percolação de água, DAL BO et alii (1986 b) verificaram uma tendência de redução na matéria seca total de raízes com o aumento da dose de gesso. O mesmo se verificou para a parte aérea. Entretanto, a distribuição relativa das raízes em profundidade não foi influenciada pelo gesso, havendo maior concentração radicular nas camadas superficiais. BLACK & CAMERON (1984) também detectaram uma tendência de redução na matéria seca de raízes de alfafa no subsolo, quando da aplicação ou lixiviação de gesso nessa camada.

Estudando o crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna*, DAVIDE (1983) observou efeito significativo do gesso, associado a fosfato de Araxá. A aplicação de 0,84 kg de gesso/m³ de solo proporcionou um ganho de 19,4% em altura. O comprimento e peso seco de raízes aumentou 61,1% e 21,9%, respectivamente, para a mesma dose de gesso, acrescida de 21,42 Kg de fosfato/m³ de solo.

PAOLINELLI et alii (s.d.) citam os dados apresentados por Novais (1986) envolvendo o uso do gesso associado ao fosfato de Araxá no plantio de *Eucalyptus grandis* em Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), no município de Bom Despacho - MG. O volume cilíndrico, aos 18 meses de idade, revelou ganhos de biomassa de 40 para 133 m³/ha no LE e de 53 para 157 m³/ha no LV, com aplicação de 250 g de gesso/cova, na ausência de fosfato. Com a aplicação de 2,0 ton de fosfato/ha, os ganhos pela adição de 250 g de gesso/cova foram de 47 para 150 m³/ha no LE, e de 60 para 173 m³/ha no LV.

O gesso produz efeitos na nutrição mineral das plantas. O resultado mais comumente observado é a elevação da concentração de cálcio na matéria seca, antagonicamente à diminuição na de magnésio e/ou potássio. Os níveis de nitrogênio e enxofre tendem a ser maiores, enquanto os de fósforo e alumínio, normalmente, não sofrem alteração. Quanto aos micronutrientes, os dados revelam, de uma maneira geral, aumento nos teores de zinco, ferro, manganês e cobre (FRIED & PEECH, 1946; OLSEN & WATANABE, 1979; QUAGGIO et alii, 1982; DAVIDE, 1983; ROSOLEM & MACHADO, 1984; GUILHERME, 1986; CARVALHO et alii, 1986; DAL BO et alii, 1986 b; OLIVEIRA et alii, 1986; SOUZA & RITCHEY, 1986; FARINA & CHANNON, 1988; NOVAIS et alii (1989); SILVA, 1990).

3. HIPOTESE

A aplicação de quantidades crescentes de gesso e água ao solo promove um aumento gradativo na movimentação de nutrientes minerais em profundidade, notadamente cálcio, magnésio, potássio e enxofre. Essa movimentação diferenciada dos nutrientes produz efeitos sobre crescimento de raízes e parte aérea, bem como na nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*.

4. MATERIAL E METODOS

Para atingir os objetivos propostos, foi instalado e conduzido um experimento em casa de vegetação, junto ao Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras - Minas Gerais.

4.1. Material de solo e vasos

O material de solo utilizado foi obtido de um Latossolo Vermelho-Escuro, sob cobertura florestal de eucalipto, localizado no município de Carbonita - MG. O material foi coletado das camadas de 0-20 e 40-60 cm de profundidade. O solo foi selecionado pelo seu baixo teor de cálcio trocável, notadamente na subsuperfície, bem como pela sua utilização em reflorestamento. Após a secagem ao ar, o material foi peneirado (peneira 5 mm) e acondicionado em colunas de PVC, de maneira a obter-se uma densidade uniforme, em torno de 0,9g de solo/cm³. As colunas foram constituídas pela sobreposição de três anéis de 20 cm de altura e diâmetro, conectados um ao outro por meio de fita adesiva (tipo crepe). O solo foi disposto de maneira que os 36 cm

inferiores das colunas receberam o material originário da camada de 40-60 cm, sobre o qual adicionou-se mais 20 cm de material proveniente da camada de 0-20 cm. Desta forma, restaram 4 cm livres na superfície de cada coluna.

Ao fundo, cada coluna recebeu uma tela plástica fina (1 mm malha), presa com gominhas elásticas, além de um prato de plástico preto (tipo para vasos). Dezesesseis desses pratos foram perfurados ao centro e receberam um conector e uma mangueira plástica (tipo de jardim), para o escoamento de eventual água percolada das colunas que receberam o nível 3 de irrigação. Na parte superior, cada coluna recebeu uma lâmina de espuma (1 cm de espessura) com 25 x 25 cm, e um corte num dos lados, até o centro, para a passagem do caule das plantas e permitir a sua retirada, quando desejado. O objetivo dessa espuma foi evitar uma evaporação excessiva de água da superfície do solo, prevenindo com isto o seu ressecamento excessivo, seguido de endurecimento e contração. Isso dificultaria a infiltração da água pelo solo, favorecendo a sua movimentação junto às paredes da coluna. As colunas foram montadas sobre mesas de ripado para facilitar a coleta da água percolada e a movimentação das mesmas, quando necessário.

4.2. Caracterização física e química do solo

Foram tomadas amostras para determinações físicas e químicas do material de solo. As análises físicas foram: (1) textura (método do densímetro, com modificações propostas por FONTES (1982)); (2) densidade de partículas (método do balão

volumétrico, segundo EMBRAPA, 1979). Os resultados constam no Quadro 01. Determinou-se também a curva de retenção de umidade do solo, conforme EMBRAPA (1979), apresentada no Quadro 02. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da ESAL.

QUADRO 01 - Resultados da análise textural e densidade de partículas do material de Latossolo Vermelho-Escuro (médias de 5 repetições).

PROFUNDIDADE (cm)	TEXTURA (%)			DENSIDADE DE PARTICULAS (g/cm ³)
	AREIA	SILTE	ARGILA	
0-20	16	8	76	2,59
40-60	16	8	76	2,66

QUADRO 02 - Retenção de umidade, em porcentagem do peso seco, do material de Latossolo Vermelho-Escuro (médias de 5 repetições).

PROFUNDIDADE (cm)	TENSÕES (atm)					
	-15	-5	-1	-0,33	-0,10	-0,06
0-20	24,6	25,9	27,3	29,3	33,5	37,5
40-60	23,6	25,0	26,7	28,6	34,0	42,7

As análises químicas constaram de: (1) pH (H₂O e KCl); (2) matéria orgânica; (3) Ca, Mg e Al trocáveis (KCl 1N); (4) P e K disponíveis (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N), segundo VETTORI (1969); (5) S-SO₄²⁻ (Ca(H₂PO₄)₂.H₂O + HOAc 2N + 500 ppm P), segundo HOEFT et alii (1973). O Ca e Mg foram determinados por absorção atômica, o Al por titulometria, o P por colorimetria, o K por fotometria de chama e S por turbidimetria. Os resultados são apresentados no Quadro 3. As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da ESAL.

QUADRO 03 - Resultados da análise química do material de Latossolo Vermelho-Escuro (médias de 5 repetições).

PROFUNDIDADE (cm)	pH		P	K	S	Ca	Mg	Al

	H ₂ O	KCl						
0-20	4,2	3,9	2,0	30	5,4	0,12	0,05	1,4
40-60	4,8	4,1	2,0	14	5,0	0,05	0,01	0,7

4.3. Mudas

Foram utilizadas mudas de um clone de *Eucalyptus grandis*, produzidas por sistema de enraizamento de estacas, em tubetes plásticos com vermiculita. Por ocasião do plantio, as mesmas apresentavam diâmetro médio de 3,3 mm (\pm 0,5 mm), altura média de 46 cm (\pm 4 cm) e aproximadamente 120 dias de idade.

4.4. Tratamentos e delineamento experimental

Foram testados 3 níveis de irrigação e 4 doses de gesso, constituindo-se num fatorial 3x4, com 12 tratamentos. O delineamento experimental usado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, procurando-se controlar possíveis efeitos de insolação diferencial e o tamanho inicial das mudas. Cada parcela foi constituída por uma coluna de solo com uma planta.

Os níveis de irrigação basearam-se na capacidade de retenção de água pelas camadas de solo, considerando-se o valor de $-0,06$ atm de potencial matricial. Assim, calculou-se a massa de água a ser adicionada para atingir-se esse potencial nas profundidades de 0-20 cm, de 0-40 cm, e de 0-56 cm, denominados níveis 1, 2 e 3 de irrigação, respectivamente. As doses de gesso foram 0, 1, 2 e 4 toneladas por hectare.

Para a análise da matéria seca de raízes a diferentes profundidades no solo, considerou-se um esquema de parcela subdividida, com fatorial nas parcelas, sendo as parcelas constituídas pelas colunas e as subparcelas pelas camadas, em número de cinco.

4.5. Condução do experimento

Cada parcela recebeu adubação básica com macronutrientes na camada de 0-10 cm (Quadro 04), além da dose de gesso relativa ao tratamento (Quadro 05). Os macronutrientes foram aplicados ao solo da camada de 0-10 cm, via solução aquosa. O gesso usado foi do tipo comercial, previamente peneirado

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and difficult to decipher.

(peneira 0,5 mm), e com sua umidade natural. Foram feitas adubações em cobertura com N e K, via irrigação, durante o transcorrer do experimento (Quadro 06). Utilizou-se como fonte de micronutrientes o FTE BR-9 (0,15 g/coluna), misturado ao solo da camada de 0-10 cm.

QUADRO 04 - Adubação básica aplicada ao solo da camada de 0-10cm, antes do plantio(g/coluna).

FONTE (p.a.)	NUTRIENTE				
	N	P	K	Mg	S
NH ₄ NO ₃	0,15(50)*	-	-	-	-
KH ₂ PO ₄	-	0,60(200)	0,75(250)	-	-
MgSO ₄ .7H ₂ O	-	-	-	0,15(50)	0,20(66)

* Os valores entre parentesis representam a quantidade aplicada, em ppm.

QUADRO 05 - Quantidades de gesso aplicadas ao solo da camada de 0-10cm (g/coluna), relativas às doses dos tratamentos.

0	DOSES DE GESSO (t/ha)		
	1	2	4
0	3,14	6,28	12,56

QUADRO 06 - Quantidades de nitrogênio e potássio aplicadas em cobertura (g/coluna), ao longo do experimento.

NUTRIENTE	DIAS APOS O PLANTIO			
	21	42	64	84
N	0,2(1)*	0,2(1)	0,3(1) (2)	0,2(1) (2)
K	-	-	0,3(2)	0,2(2)

* Os números entre parênteses indicam a fonte utilizada: (1) $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (2) KNO_3 .

O plantio das mudas de eucalipto foi realizado em 08/10/89. Os níveis de irrigação, previamente estabelecidos para atingir-se 0,06 atm de potencial matricial nas profundidades de 0-20, 0-40 ou 0-56 cm, foram controlados por pesagens em balança tipo de armazém, com precisão de 0,1 kg. A água foi repostada sempre que atingido o peso correspondente ao potencial de -1,0 atm, utilizando-se água destilada. Todo o processo de irrigação foi realizado por sistema de gotejamento (tipo soro hospitalar), promovendo-se o rodízio do ponto de aplicação da água na superfície do solo. A água foi aplicada sobre papel de filtro, visando uniformizar a sua distribuição sobre o solo.

Os níveis de irrigação foram atingidos gradativamente, ou seja, o nível 1 aos 10 dias, o 2 aos 14 dias e o nível 3 aos 18 dias após o plantio. Tal procedimento visou minimizar uma movimentação vertical excessiva da água nos primeiros dias. Neste período, as plantas ainda não haviam enraizado satisfatoriamente para extrair eficientemente a água do solo, e, conseqüentemente, reduzir a sua condutividade hidráulica. As colunas que receberam

o nível 3 de irrigação tiveram o seu fundo conectado a uma garrafa de vidro de 500 ml através de uma mangueira plástica, para coleta de eventual água percolada.

A quantidade de água adicionada a cada coluna foi computada durante o transcorrer de todo o período experimental. Para facilitar a visualização quantitativa do efeito da irrigação, calculou-se, para cada nível de irrigação, o valor médio de lâmina de água aplicado por dia, considerando-se todo o período experimental. Os valores obtidos foram: 8,5; 13,9 e 17,4 mm de lâmina de água/dia, correspondentes aos níveis 1, 2 e 3 de irrigação. Esses valores foram usados no cálculo das equações de regressão e na confecção das figuras. O experimento foi encerrado em 12/01/90, transcorridos 98 dias do plantio das mudas nas colunas.

4.6. Características avaliadas

Ao final do experimento, a parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo e individualizada em folhas, galhos e tronco. As colunas foram desmontadas, anel por anel. As raízes foram cuidadosamente separadas do solo, através de lavagem em água, sobre peneira, considerando-se cinco camadas de 10 cm, à partir de superfície do solo. Foram desprezados, portanto, os 6 cm de solo do fundo de cada coluna. Todo o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e levados à estufa com circulação forçada de ar (70°C), até obter-se peso constante. Foram coletadas amostras de cada camada de solo para análise química.

As características avaliadas foram:

- a) Matéria seca da parte aérea, considerando-se separadamente, folhas, galhos, tronco e total;
- b) Altura das plantas;
- c) Diâmetro do caule, 5 cm acima do solo;
- d) Matéria seca de raízes;
- e) Relação de matéria seca total raiz/parte aérea (R/P);
- f) Análise química da matéria seca da parte aérea, segundo SARRUGE & HAAG (1974);
- h) Eficiência de utilização de cada nutriente, considerando-se a relação entre a matéria seca total da parte aérea e a concentração do nutriente, segundo SIDDIQI & GLASS (1981);
- i) Análise química do solo, considerando-se 5 camadas de 10 cm de espessura, seguindo-se a mesma metodologia citada anteriormente para a análise do solo antes do ensaio.

4.7. Análise estatística

Os dados relativos ao crescimento das plantas e análise de tecido foram submetidos à análise de variância, com regressão polinomial, sendo ajustadas e selecionadas equações, baseando-se na significância de seus coeficientes e na coerência de seu ajuste ao fenômeno biológico estudado (GOMES, 1985). Os resultados foram apresentados na forma de figuras.

Foi feito também um estudo de correlação linear entre os teores médios de sulfato e de cálcio, magnésio e potássio, nas cinco camadas de solo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos de análise de variância estão apresentados nos Quadros 1A a 10A, assim como as equações de regressão ajustadas e seus respectivos coeficientes de determinação, nos Quadros 15A a 20A.

5.1. Efeito dos tratamentos no solo

O aumento da irrigação e/ou dose de gesso promoveu uma movimentação mais intensa em profundidade de enxofre, cálcio e magnésio no solo (FIGURAS 1 a 9). A Movimentação desses nutrientes, quando da aplicação de diferentes quantidades de gesso e água ao solo, também é relatada por RITCHEY et alii (1980), DIAS et alii (1984) e SOUZA & RITCHEY (1986). Destaca-se, nas citadas figuras, que as curvas de movimentação caracterizam-se por apresentar pulsos de acumulação, conforme padrão relatado por RITCHEY et alii (1980).

No presente estudo, os pulsos de acumulação restringiram-se basicamente à profundidade de 0-20 cm, para o nível 1 de irrigação, 0-30cm, para o nível 2, e finalmente 0-40cm,

para o nível 3 de irrigação. Cabe ressaltar a lixiviação mais intensa do Mg em relação ao Ca, em todos os três níveis de irrigação, atingindo profundidade maior do que 40 cm, no nível de irrigação 3 (FIGURAS 6 e 9).

A análise das correlações entre o sulfato e o cálcio ou magnésio, nas diferentes camadas do solo, demonstram uma relação direta entre o movimento descendente do enxofre com o do cálcio e do magnésio (Quadro 07). Observa-se a ausência de correlação significativa entre o sulfato e o magnésio nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, bem como correlação significativa na camada de 40-50 cm, o que não ocorreu com o cálcio. Esses dados reforçam a proposição da maior lixiviação do magnésio em relação ao cálcio, em presença de sulfato, conforme proposto por RITCHEY et alii (1980), DAL BO et alii (1986 a) e SOPRANO & ALVAREZ

QUADRO 07 - Coeficientes de correlação entre os teores médios de sulfato e de cálcio, magnésio ou potássio, em diferentes profundidades no solo, nos 12 tratamentos.

PROFUNDIDADE (cm)	SO ₄ ²⁻ vs Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻ vs Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻ vs K ⁺
0-10	0,8639**	0,3855	0,2342
10-20	0,8384**	0,4196	0,0130
20-30	0,6137**	0,7836**	-0,5925*
30-40	0,9816**	0,9660**	-0,1956
40-50	0,1741	0,6703**	-0,4488

* Significativo, ao nível de 5%

** Significativo, ao nível de 1%

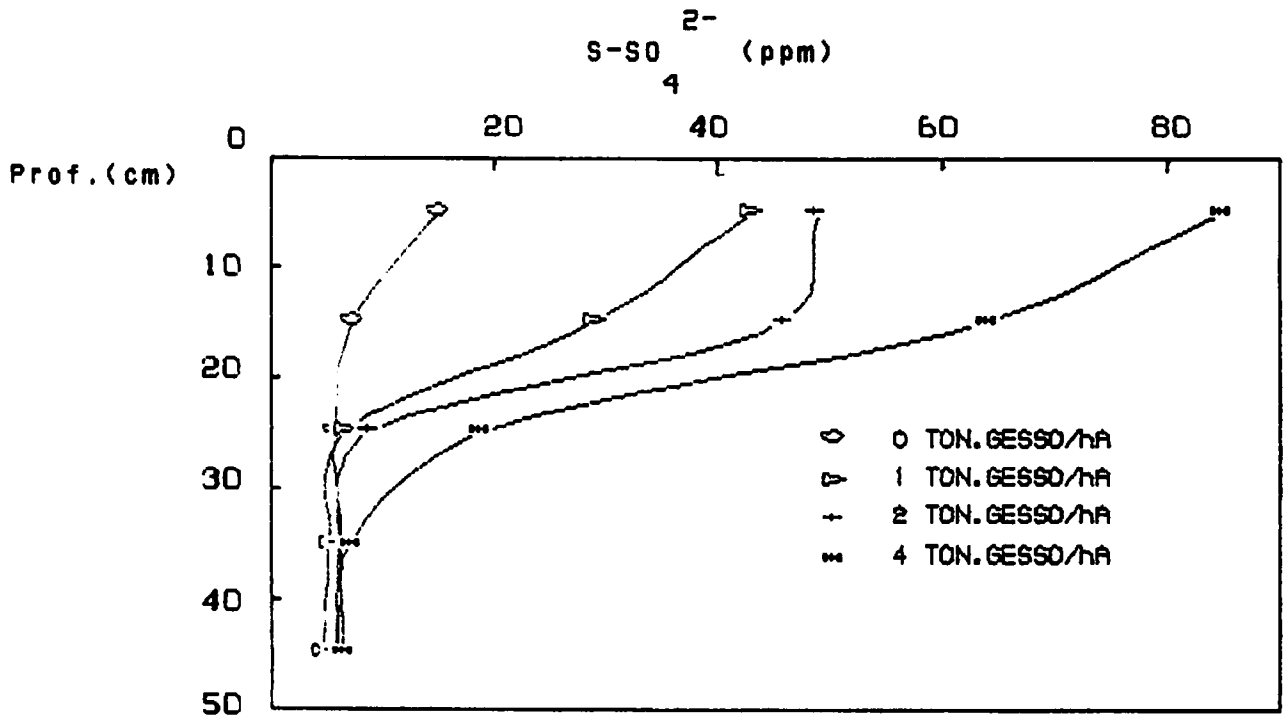


FIGURA 1: Teores de sulfato no solo em função das doses de gesso, no nível de 8,5 mm de irrigação/dia.

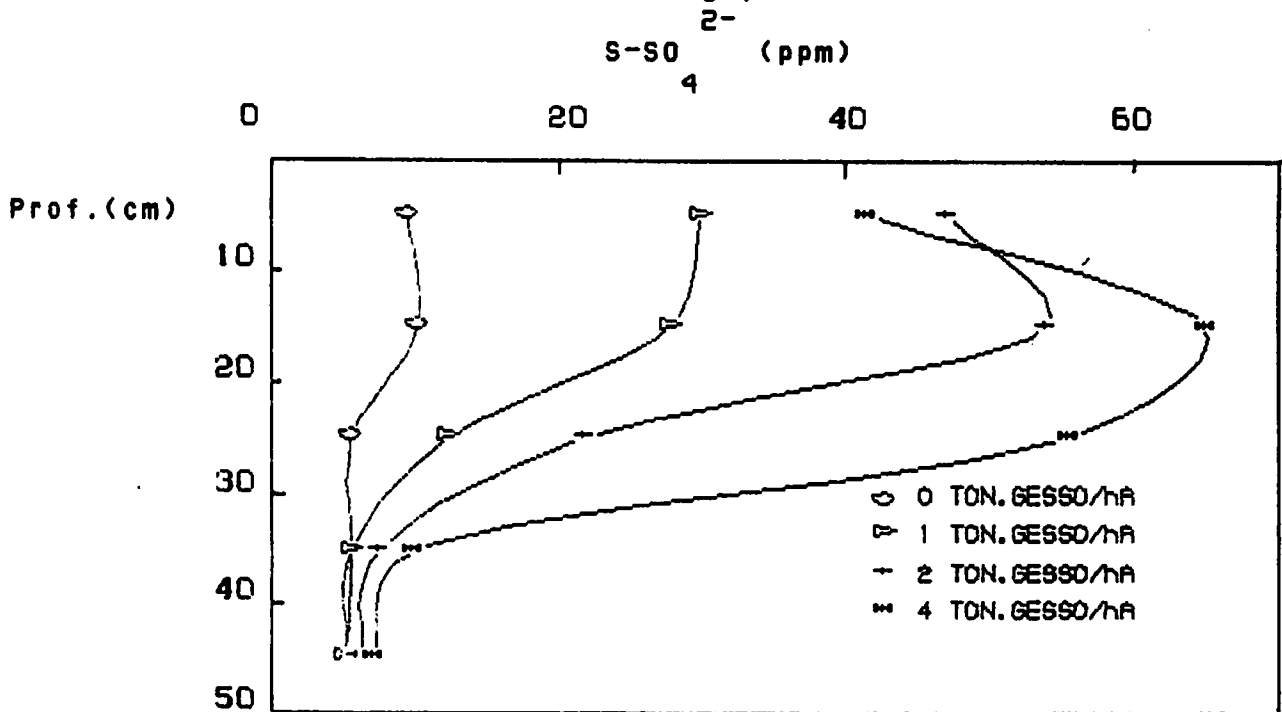


FIGURA 2: Teores de sulfato no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9 mm de irrigação/dia.

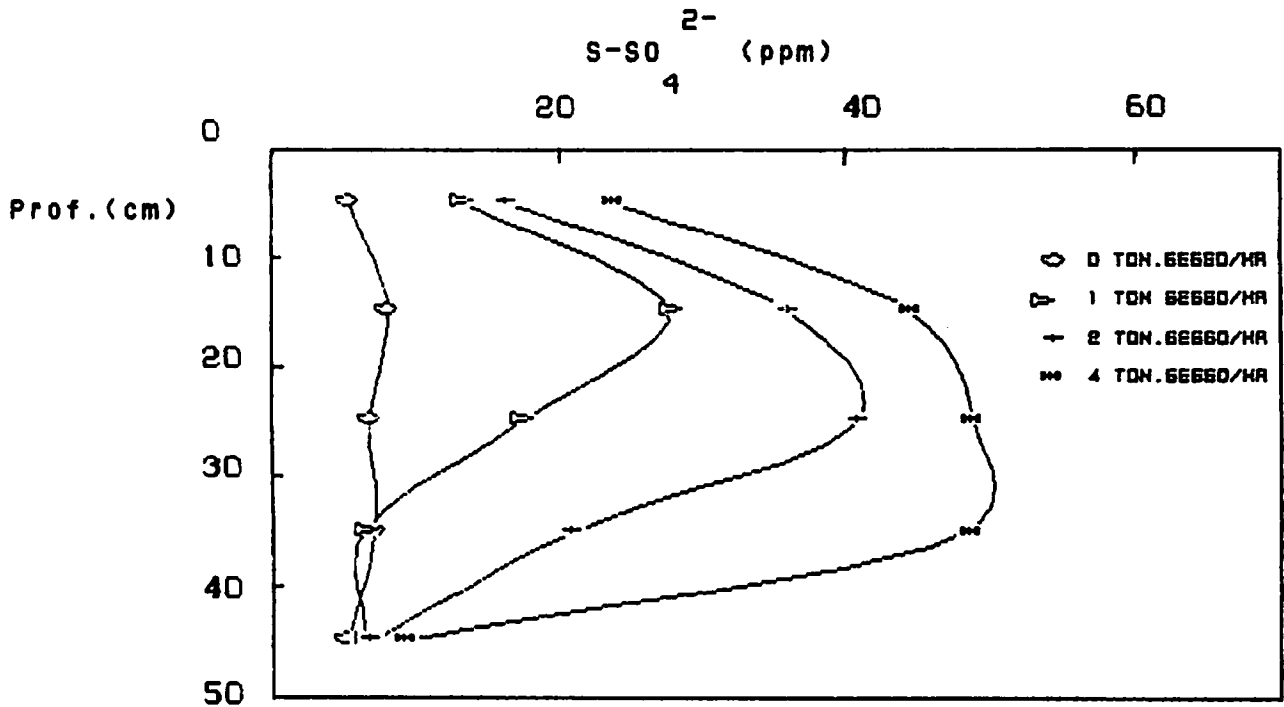


FIGURA 3: Teores de sulfato no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4 mm de irrigação/dia.

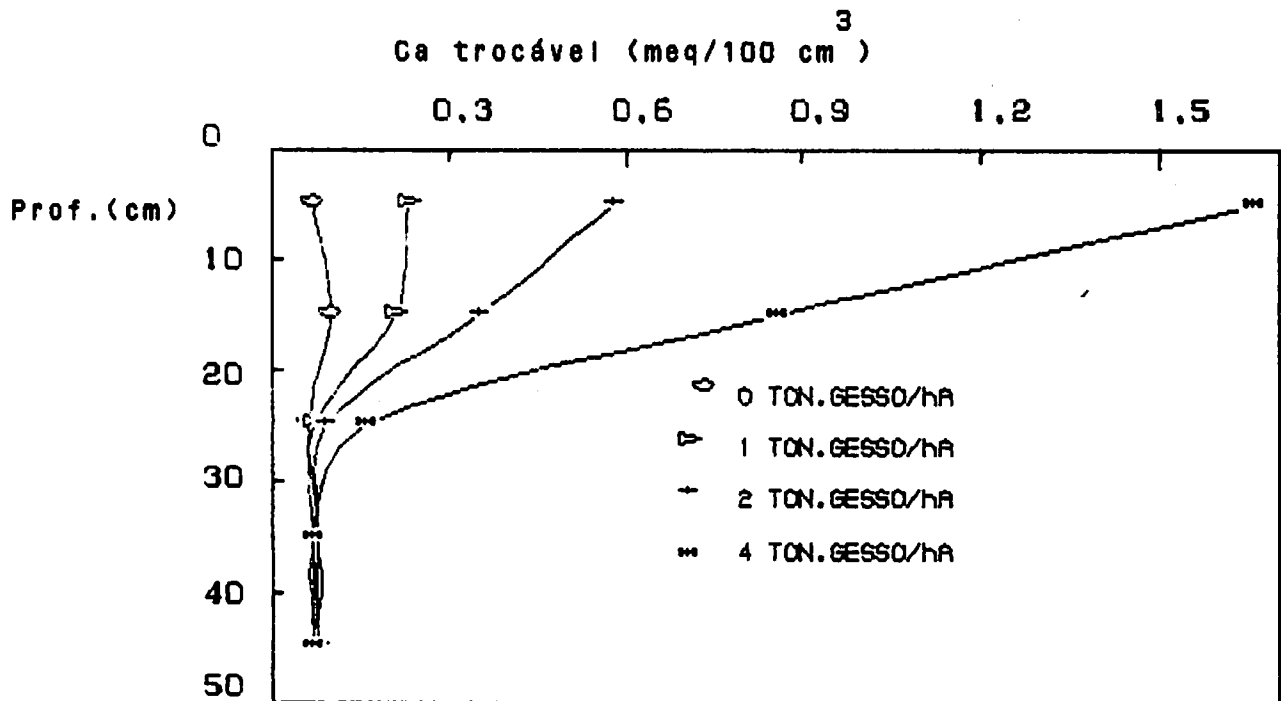


FIGURA 4: Teores de cálcio no solo em função das doses de gesso, no nível de 8,5 mm de irrigação/dia.

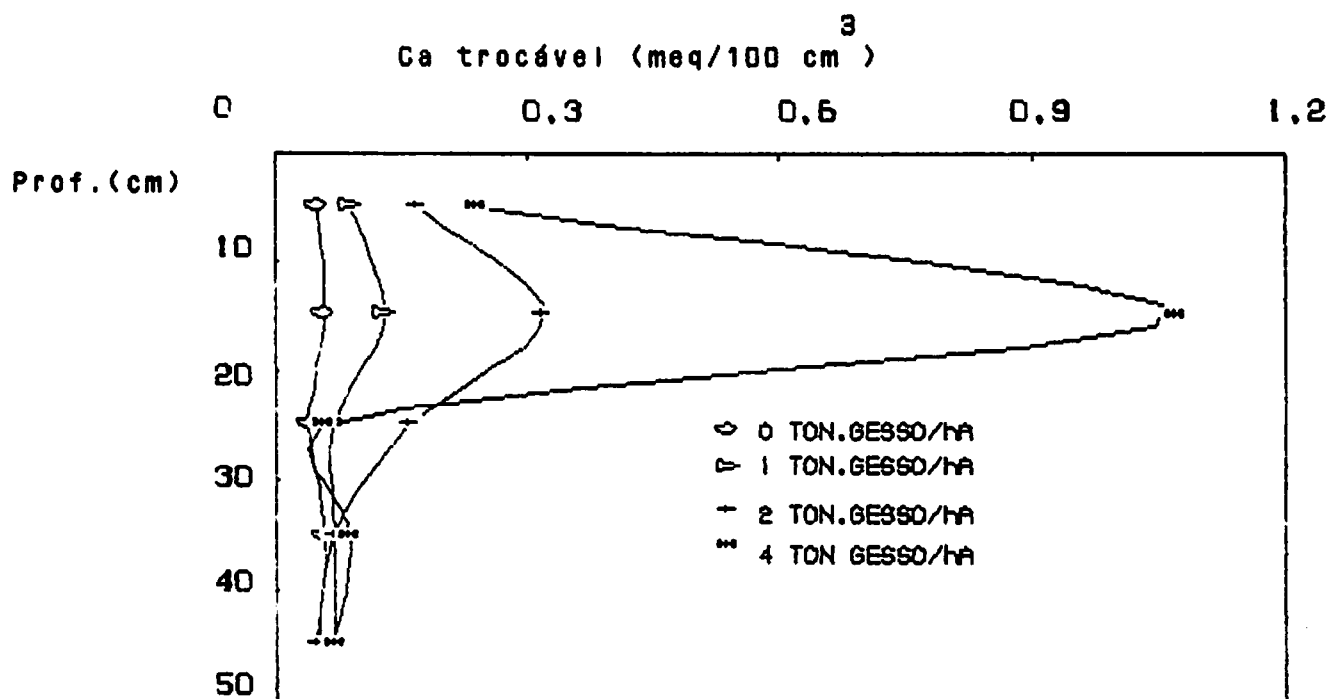


FIGURA 5: Teores de cálcio no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9 mm de irrigação/dia.

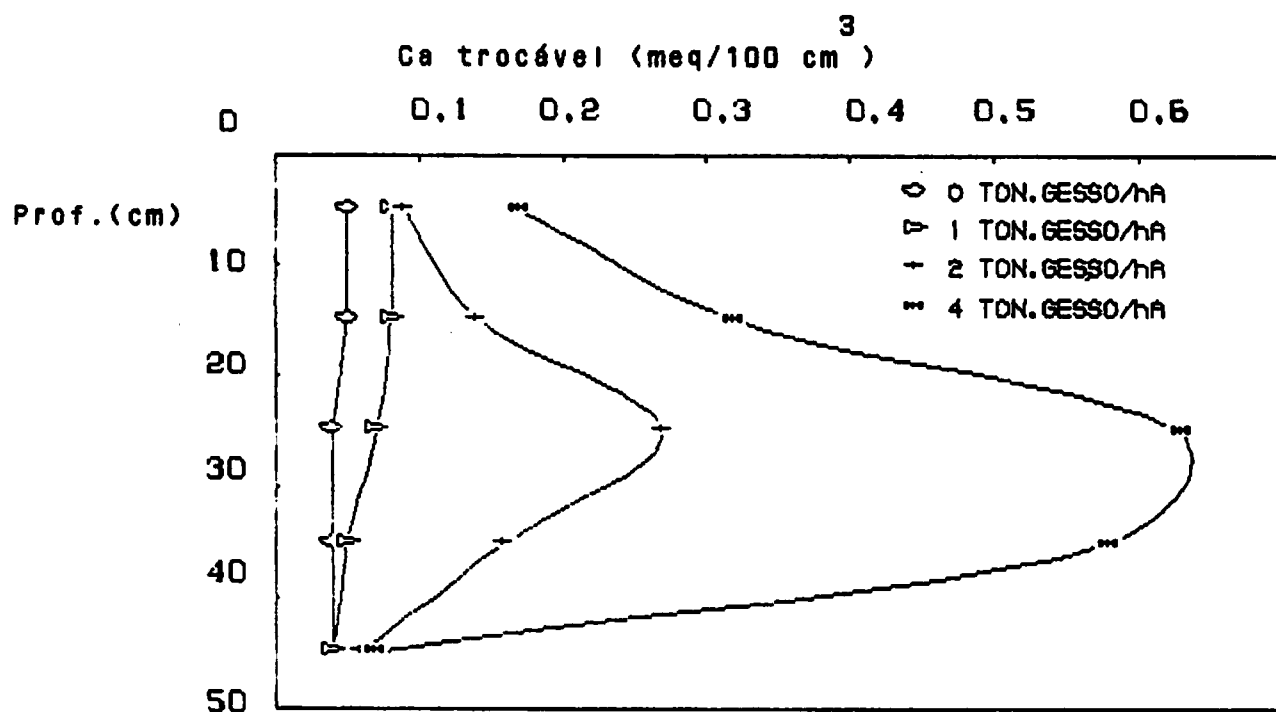


FIGURA 6: Teores de cálcio no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4 mm de irrigação/dia.

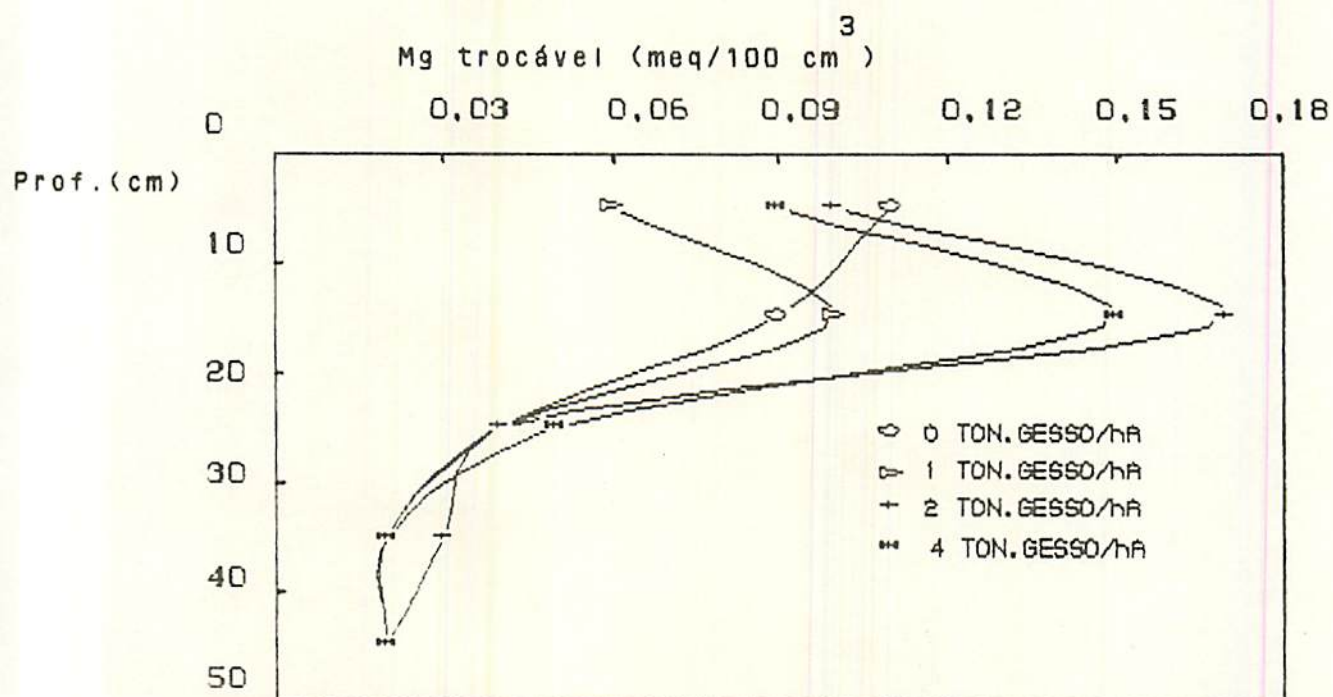


FIGURA 7: Teores de magnésio no solo em função das doses de gesso, no nível de 8,5 mm de irrigação/dia.

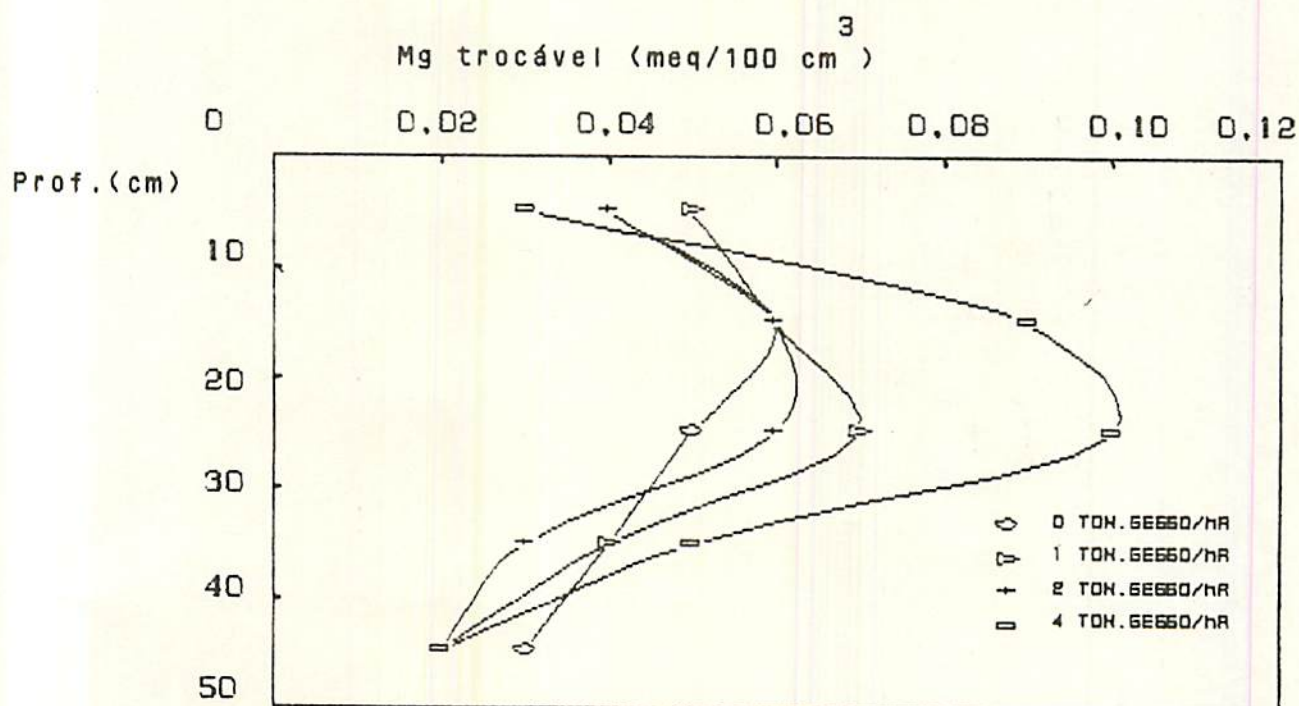


FIGURA 8: Teores de magnésio no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9 mm de irrigação/dia.

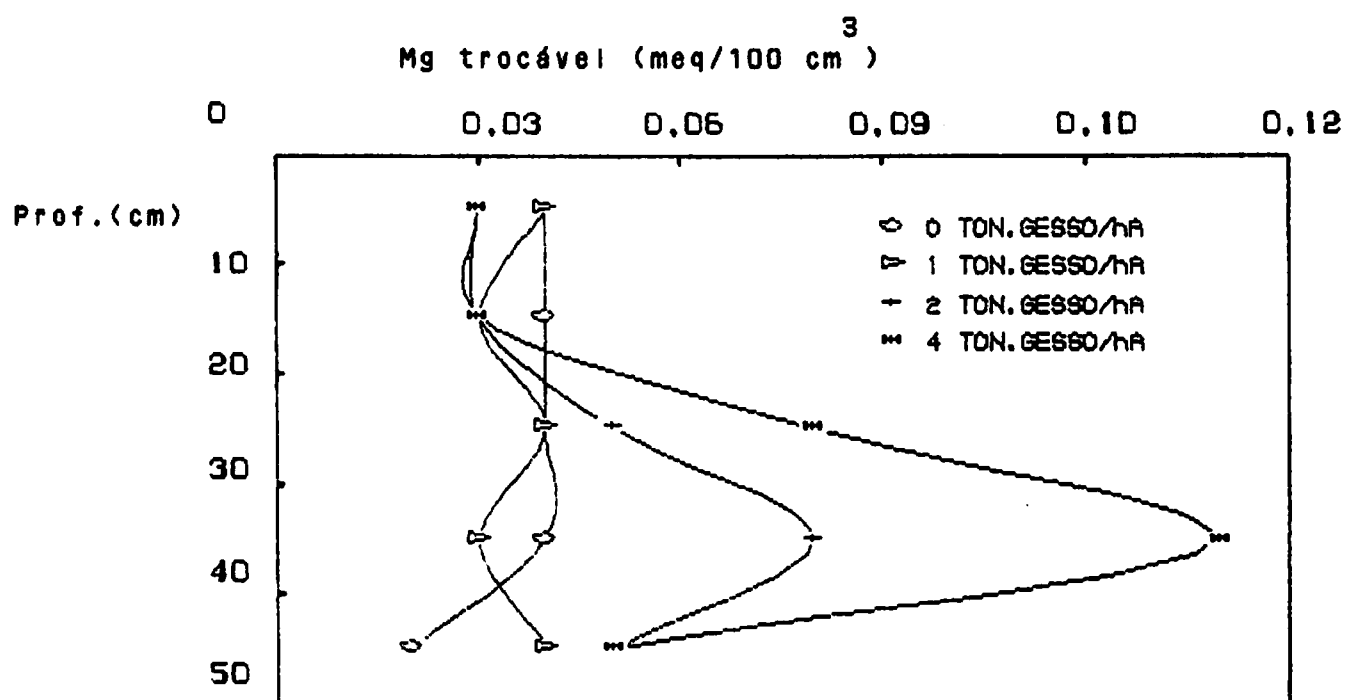


FIGURA 9: Teores de magnésio no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4 mm de irrigação/dia.

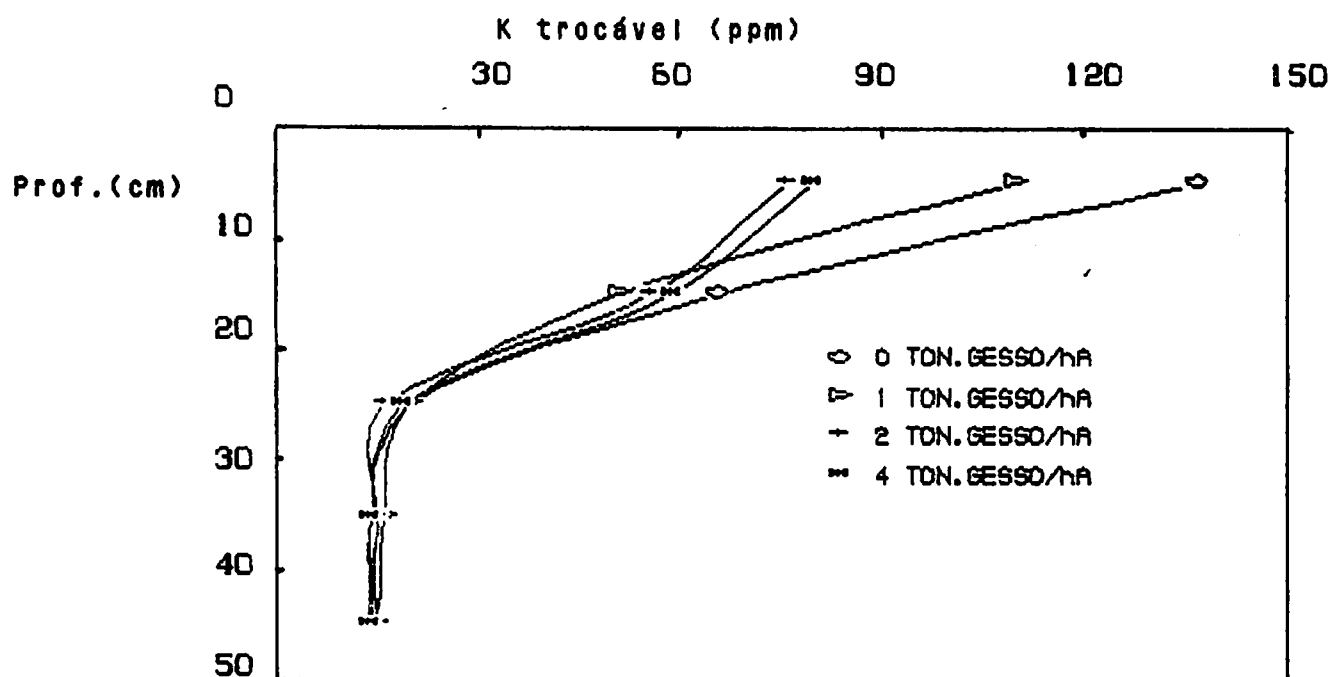


FIGURA 10: Teores de potássio no solo em função das doses de gesso, nível de 8,5 mm de irrigação/dia.

(1989). No presente caso, no entanto, esse fenômeno pode ter sido favorecido pela aplicação de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, previamente solubilizado em água, enquanto o gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) foi adicionado na forma sólida. Sem dúvida, há grande importância da solubilidade e da solubilização do sal no solo, para a sua movimentação no perfil (RITCHEY et alii, 1980).

O potássio também movimentou-se diferenciadamente no solo, todavia, basicamente em função do nível de irrigação (FIGURAS 10 a 12). Observa-se maiores teores desse nutriente nas camadas superficiais do solo no nível 1 de irrigação (FIGURA 10), quando comparadas aqueles dos níveis 2 e 3 (FIGURAS 11 e 12). Cabe ressaltar que os teores de potássio para os níveis 2 e 3 de irrigação praticamente não diferiram entre si ao longo de todo o perfil, não apresentando efeito marcante da irrigação ou das doses de gesso. As curvas de lixiviação de potássio mostraram, de maneira geral, uma tendência à linearidade. Esse comportamento do potássio contraria aqueles obtidos para o sulfato, o cálcio e o magnésio (FIGURAS 1 a 9), que apresentaram curvas bem distintas, em função da irrigação e/ou gesso, com pulsos de acumulação bem evidentes.

O movimento descendente do potássio no solo não acompanhou o do sulfato (Quadro 07). Isso pode ser atribuído, basicamente, às adubações potássicas parceladas em cobertura, desvinculando, pelo menos em parte, a lixiviação do potássio da lixiviação do sulfato. Tal fenômeno também foi observado por SILVA (1990). O uso de KH_2PO_4 e KNO_3 , como fontes de potássio, é outro fator a ser considerado, devido a importância do ânion

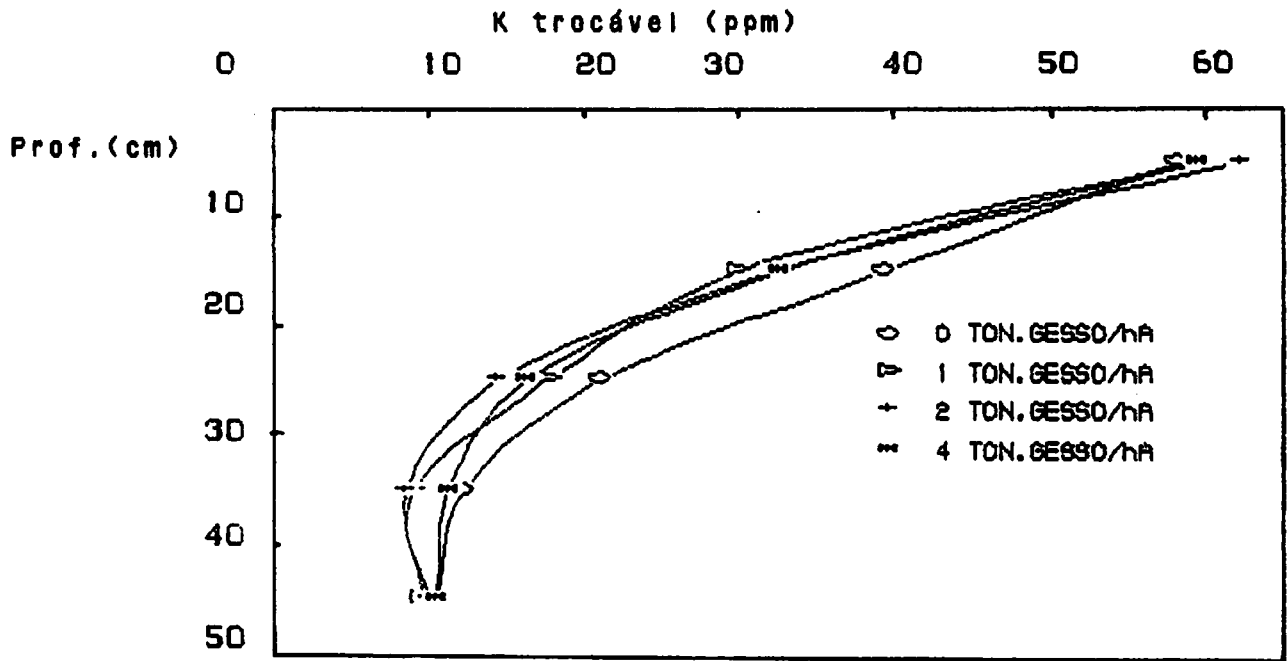


FIGURA 11: Teores de potássio no solo em função das doses de gesso, no nível de 13,9 mm de irrigação/dia.

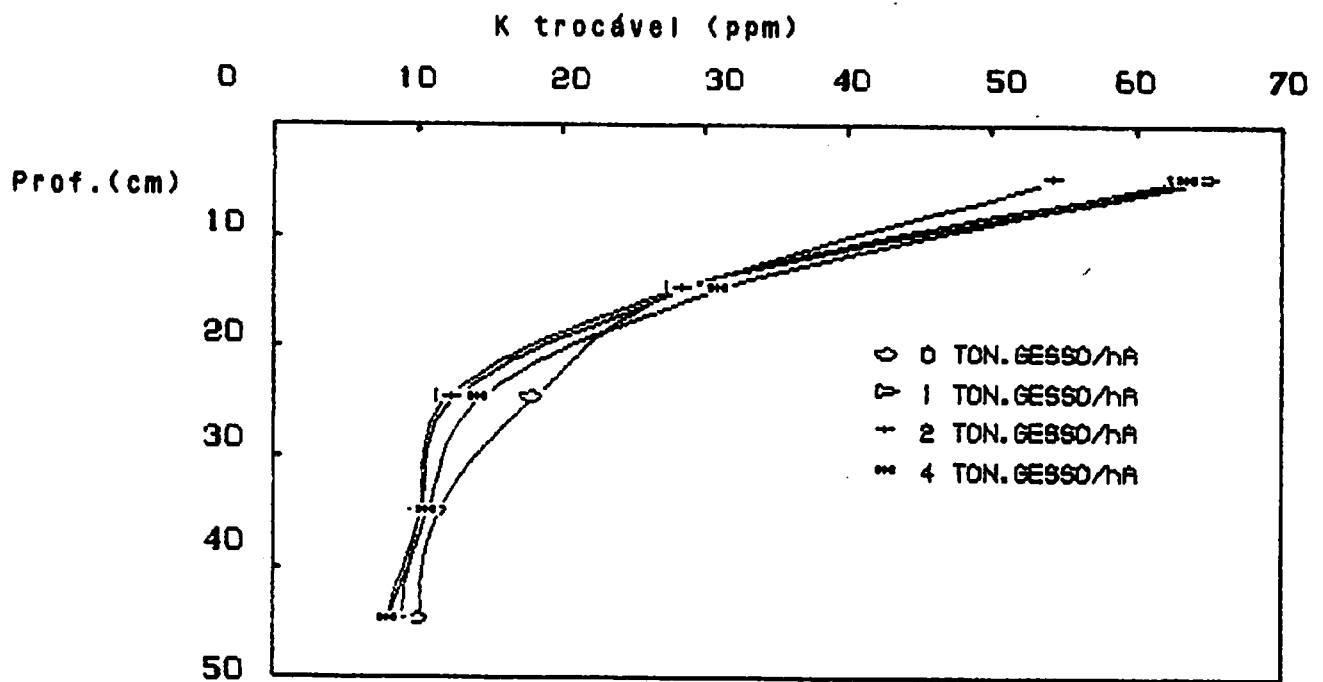


FIGURA 12: Teores de potássio no solo em função das doses de gesso, no nível de 17,4 mm de irrigação/dia.

acompanhante na lixiviação do cátion (RITCHEY et alii, 1980; RAIJ, 1986).

O alumínio trocável do solo, nas diferentes profundidades, praticamente não sofreu alteração com os tratamentos (Quadro 11A), concordando com as observações de BLACK & CAMERON (1984), DIAS et alii (1984) e ERNANI (1986). Contudo, este resultado contraria outros trabalhos com gesso, que relatam uma diminuição no alumínio trocável.

O pH (KCl) não se alterou (Quadro 12A), indicando que houve equilíbrio entre os OH^- , liberados pela adsorção do SO_4^{2-} , e os H^+ , oriundos da hidrólise da Al^{3+} (PAVAN, 1983; PAVAN & VOLKWEISS, 1986). Resultado semelhante, foi relatado por FARINA & CHANNON (1988).

O fósforo disponível na camada de 0-10 cm de profundidade aumentou linearmente com as doses de gesso (FIGURA 13). A presença de quantidade crescente de sulfato, provavelmente, contribuiu para esse efeito ao competir com o fosfato, pelos sítios de adsorção na superfície do solo. No entanto, o fenômeno não foi influenciado pelo nível de irrigação. Vale lembrar que a elevação do teor de cálcio no solo pode, apesar do pH baixo, favorecer a formação de compostos pouco solúveis desse nutriente com o fósforo, mas solubilizáveis pelo extrator Mehlich - 1 (RAIJ, 1987). Outro aspecto a ser considerado é a presença de 0,60 a 0,73% de P_2O_5 no gesso (VITTI et alii, 1986). No presente estudo, a dose de 4t de gesso/ha representa a adição de 24 a 29 Kg de P_2O_5 /ha, o que pode ter influido nos resultados analíticos de fósforo disponível.

P no solo (ppm)

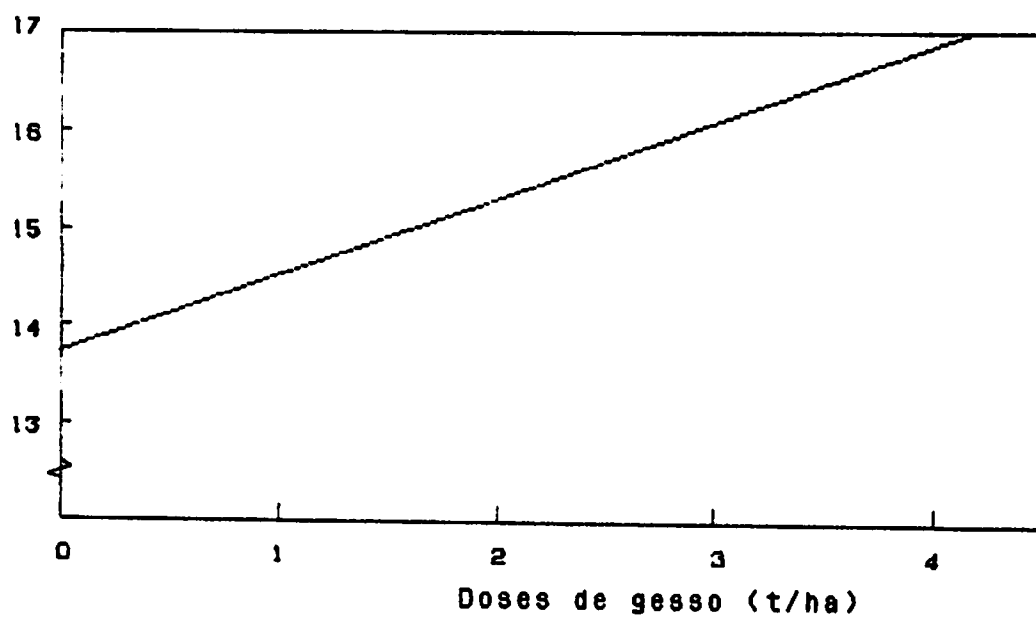


FIGURA 13: Teores de fósforo na camada de 0 - 10 cm do solo em função das doses de gesso.

A literatura pertinente ao uso de gesso no solo não tem dado ênfase quanto ao seu efeito na disponibilidade de fósforo. No entanto, o fato pode ser importante, posto que esse nutriente normalmente é um dos mais limitantes ao crescimento das plantas, nas condições dos solos brasileiros.

5.2. Efeito dos tratamentos na planta

Obteve-se, como tendência geral, um efeito interativo entre as doses de gesso e os níveis de irrigação na nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*. No entanto, nas características de crescimento das plantas (matéria seca, diâmetro do caule e altura), os efeitos de gesso e irrigação foram independentes entre si, conforme será apresentado a seguir.

5.2.1. Efeito dos níveis de irrigação no crescimento do *Eucalyptus grandis*

O aumento do nível de irrigação proporcionou incrementos na produção de matéria seca total da parte aérea, bem como individualmente, para folhas, galhos e tronco (FIGURA 14). O mesmo efeito foi obtido para o crescimento em altura, sendo que, para o diâmetro do tronco e a matéria seca total de raízes o efeito da irrigação foi linear (FIGURAS 15 e 16). Cabe ressaltar que, para nenhuma dessas características avaliadas, as curvas atingiram ponto crítico, de máximo ou mínimo, para os níveis estudados. A relação de matéria seca total de raízes e parte aérea (R/P) não se alterou em função da irrigação (Quadro 13A),

M.S. parte aérea (g/planta)

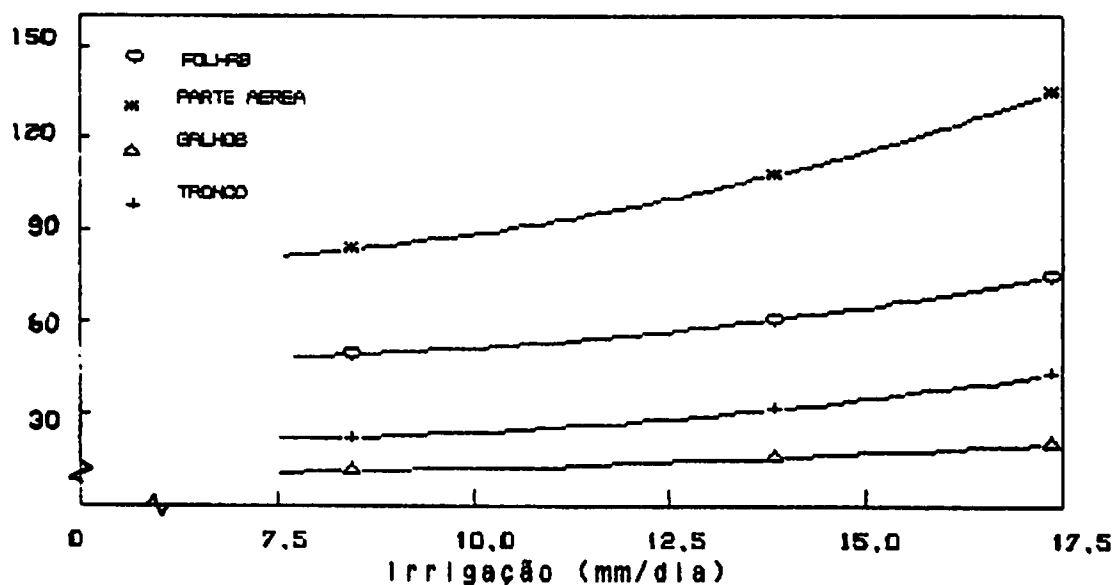


FIGURA 14: Produção de matéria seca na parte aérea em função da irrigação.

Diâmetro (mm)

Altura (cm)

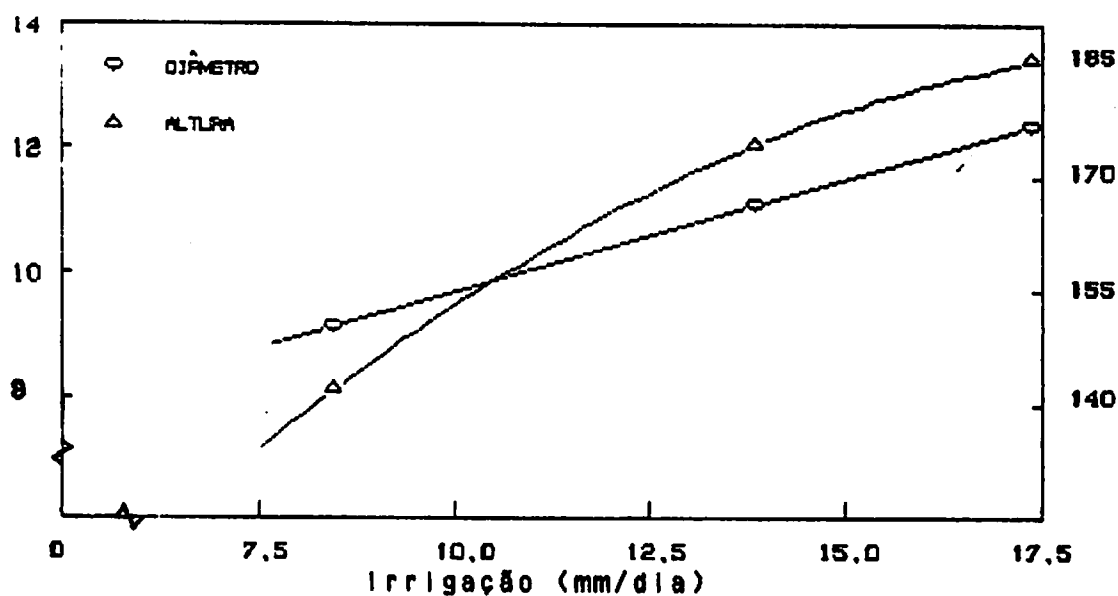


FIGURA 15: Crescimento em diâmetro do caule e altura da parte aérea em função da irrigação.

M.S.raízes (g/planta)

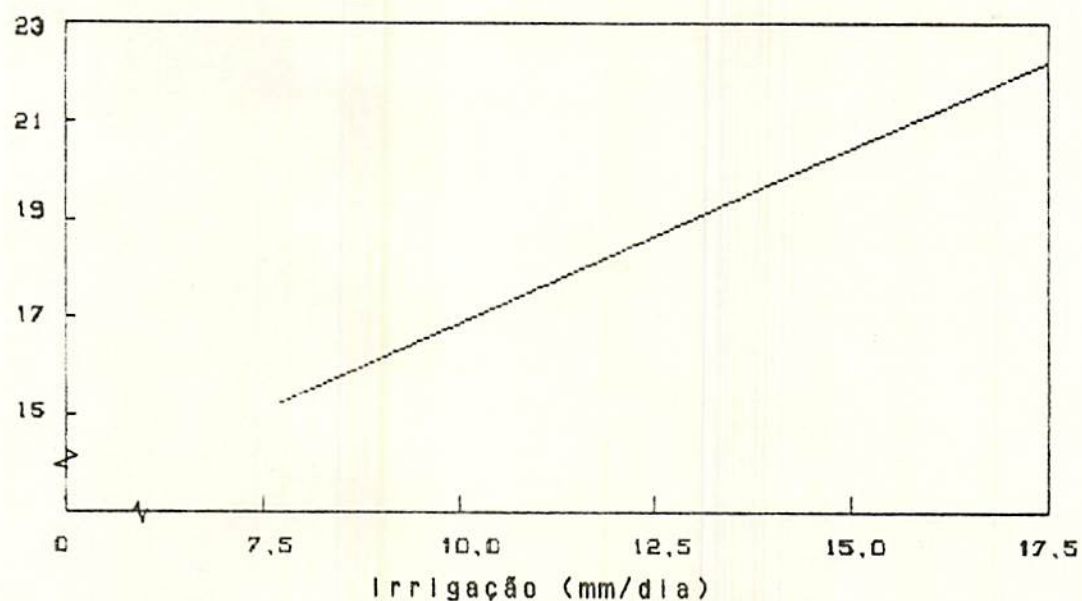


FIGURA 16: Produção de matéria seca de raízes em função da irrigação.

Prof.(cm)

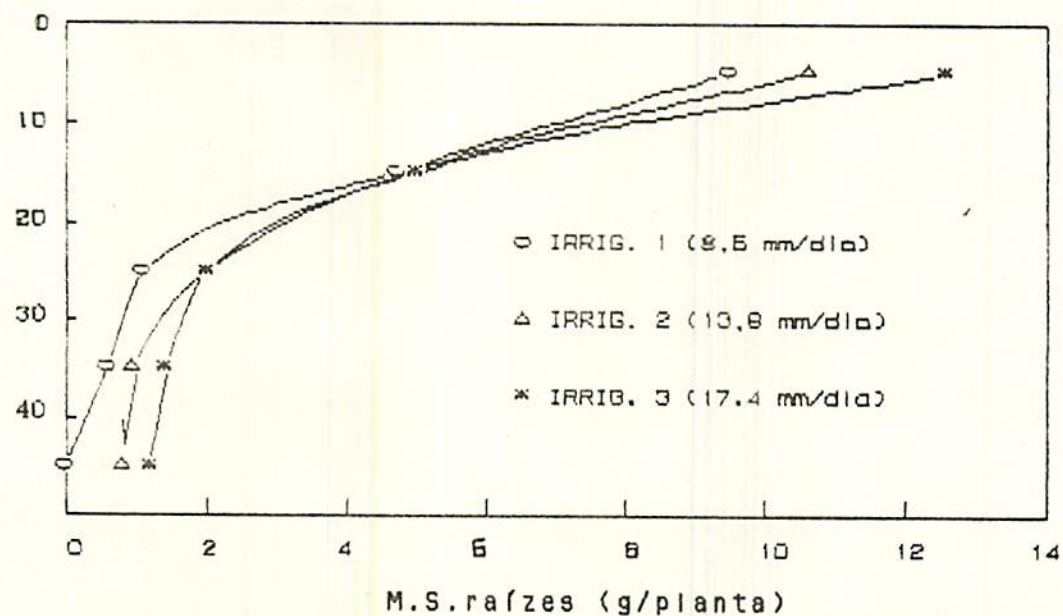


FIGURA 17: Produção de matéria seca de raízes a diferentes profundidades no solo, em função da irrigação.

contrariando a proposição de KRAMER (1969), de que normalmente a maior disponibilidade de água no solo reduz a relação R/P.

A maior disponibilidade de água no solo aumenta a fotossíntese, devido à contínua aquisição de CO₂, decorrente da manutenção da abertura estomática (KRAMER, 1969). Além disso, o aumento do turgor celular favorece o crescimento da célula e conseqüentemente, a maior produção de biomassa na parte aérea e radicular (KOZLOWSKI, 1982).

Segundo LIMA (1979), as árvores crescem mais em altura e diâmetro em sítios com maior disponibilidade de água, apresentando também alterações anatômicas na formação dos anéis de crescimento e na madeira propriamente dita. O mesmo autor afirma que as raízes das árvores desenvolvem-se profundamente em zonas do perfil de solo onde existe suprimento adequado de água, sugerindo, no entanto, que a concentração de raízes nas camadas superficiais seria uma conseqüência da maior disponibilidade de água.

Considerando-se as diferentes profundidades no solo, percebe-se um aumento na matéria seca de raízes, com o aumento da irrigação, exceto na camada de 10-20 cm (FIGURA 17). Como se pode notar, o aumento da irrigação, favorecendo a maior disponibilidade de água nas camadas mais profundas do solo, foi acompanhado por um maior crescimento de raízes em profundidade, concordando com o proposto por LIMA (1979).

Nas colunas que receberam o nível 1 de irrigação, o solo da camada de 40-50 cm apresentou-se solto, evidenciando que a água não teria atingido tal profundidade, corroborando com a não detecção de raízes naquela região (FIGURA 17). Segundo

PRITCHETT (1986), provavelmente a unidade tenha uma maior influência no crescimento e na distribuição das raízes do que qualquer outro fator edáfico.

É conveniente salientar a elevada concentração de raízes do *E. grandis* na camada de 0-10 cm, em torno de 50 a 60% (Quadro 08). Considerando-se a camada de 0-20 cm, tem-se 80 a 90% da matéria seca radicular. Abaixo de 20 cm de profundidade, as raízes cresceram praticamente só em torno do "bloco" de solo, revestindo-o, mas desenvolvendo-se pouco no seu interior. DAL BO et alii (1986 b) também observaram comportamento radicular semelhante para a cana-de-açúcar, cultivada em colunas. A elevada concentração de raízes nas camadas superficiais do solo pode estar relacionada a um controle genético (PRITCHETT, 1986), ou a maior disponibilidade de água (LIMA, 1979; PRITCHETT, 1986), e de nutrientes, notadamente o fósforo (BOWEN, 1984; MENGEL & KIRKBY, 1987; PRITCHETT, 1986), ou ao maior teor de matéria orgânica, proporcionando uma melhor estrutura ao solo, maior porosidade, aeração, e redução do impedimento físico ao crescimento das raízes (CAMARGO, 1983; PRITCHETT, 1986).

Segundo BOWEN (1984), a maior concentração de raízes nas camadas superficiais do solo é comumente observada para as espécies florestais, embora, em algumas delas, possam ser encontradas raízes profundas. De acordo com esse autor, em condições de campo, a baixa concentração de raízes abaixo de 50 cm pode, algumas vezes, permitir a absorção de nutrientes em profundidade no solo, mas, quantitativamente, o montante é, comumente, pequeno. A principal função dessas raízes profundas, ainda segundo esse autor, parece ser a absorção de água,

especialmente nos períodos de estresse hídrico. CARVALHO et alii (1986) e SOUZA & RITCHEY (1986) relatam tal efeito para a cultura do milho, ressaltando também uma melhor absorção de nutrientes no subsolo, notadamente o $N-NO_3^-$.

QUADRO 08. Efeito dos níveis de irrigação e doses de gesso na matéria seca de raízes (em gramas) do *E. grandis*, em diferentes profundidades (médias de 4 repetições).

IRRIG. (mm/dia)	PROFUND. (cm)	DOSES DE GESSO (t/ha)			
		0	1	2	4
8,5	0-10	8,87 (60)*	10,26 (57)	9,41 (60)	9,42 (61)
	10-20	4,45 (30)	5,16 (30)	4,70 (30)	4,58 (29)
	20-30	1,05 (7)	1,26 (7)	1,05 (7)	1,01 (7)
	30-40	0,39 (3)	1,13 (6)	0,40 (3)	0,47 (3)
	40-50	0,00 (0)	0,00 (0)	0,00 (0)	0,00 (0)
13,9	0-10	11,66 (55)	10,71 (55)	8,52 (51)	11,45 (57)
	10-20	5,38 (25)	4,93 (25)	4,94 (29)	5,13 (26)
	20-30	1,89 (9)	1,93 (10)	1,65 (10)	1,66 (8)
	30-40	1,36 (6)	1,16 (6)	1,05 (6)	1,02 (5)
	40-50	1,05 (5)	0,80 (4)	0,63 (4)	0,72 (4)
17,4	0-10	14,08 (60)	12,95 (57)	11,20 (56)	11,97 (53)
	10-20	4,61 (20)	5,33 (23)	4,96 (25)	5,31 (23)
	20-30	1,90 (8)	1,78 (8)	1,63 (8)	2,48 (11)
	30-40	1,61 (7)	1,42 (6)	1,14 (6)	1,76 (8)
	40-50	1,29 (5)	1,36 (36)	1,03 (5)	1,12 (5)

* Valores entre parêntesis representam o percentual de raízes presente na referida camada, em relação ao total por coluna.

Todavia, para as condições do presente estudo, é provável ter ocorrido aproveitamento limitado, em termos de absorção pela planta, dos nutrientes lixiviados abaixo de 20 cm de profundidade, devido a baixa densidade de raízes no subsolo.

5.2.2. Efeito dos níveis de irrigação na nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*

A tendência geral foi de um maior acúmulo de nutrientes minerais na parte aérea, em função do aumento do nível de irrigação. Isso deveu-se, basicamente, ao maior crescimento das plantas e à maior absorção de nutrientes. Contudo, os incrementos na produção de matéria seca superaram aqueles de absorção de nutrientes, resultando com isso, num aumento da eficiência de utilização dos mesmos, com a elevação do nível de irrigação. Tais fatos revelam a importância da água e o seu papel primordial sobre o crescimento das plantas, notadamente as árvores, atuando em processos fisiológicos e no transporte de nutrientes do solo para as raízes (KRAMER, 1969; LIMA, 1979; KOZLOWSKI, 1982).

Analisando-se particularmente cada nutriente, verifica-se que houve um aumento linear na quantidade total acumulada de Mg, Zn, Mn, B e Cu na parte aérea do *E. grandis* (FIGURAS 18 a 22), com o aumento da irrigação. Para o N, K, Ca e S houve efeito interdependente entre a irrigação e as doses de gesso (FIGURAS 23 a 26); mas a tendência de aumento da quantidade absorvida, com o aumento da irrigação, foi mantida. Cabe ressaltar, no caso do enxofre, que os modelos de 1º e 2º grau não se ajustaram aos dados do nível 2 de irrigação. Entretanto, a tendência das médias (Quadro 14A) foi ocupar posição intermediária entre as curvas relativas aos níveis 1 e 3 de irrigação (FIGURA 26).

O fósforo total na parte aérea apresentou um aumento até aproximadamente 12,5 mm de irrigação/dia, decrescendo além

desse ponto (FIGURA 27). Uma possível explicação para esse comportamento seria a redução na absorção do fósforo pelas raízes, em função de uma menor absorção de magnésio. Como se pode ver na FIGURA 44, o magnésio nas folhas apresentou comportamento semelhante ao do fósforo (FIGURA 27). Segundo MALAVOLTA (1980), o magnésio apresenta sinergismo com o fósforo, devido ao seu papel nas reações de fosforilação.

A eficiência de utilização do N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn e Mn aumentou com a maior disponibilidade de água (FIGURAS 28 a 36). No caso do enxofre, o aumento foi linear (FIGURA 37).

As concentrações foliares de N, P, K, S, Zn e Cu decresceram com o aumento da irrigação (FIGURAS 38 a 43). O boro foliar não sofreu influência do nível de irrigação (Quadro 13A). Por sua vez, os teores de magnésio e manganês nas folhas ajustaram-se a modelos quadráticos, em resposta aos níveis de irrigação, sendo que o ponto ótimo situou-se em torno de 12,5 mm/dia (FIGURAS 44 e 45). Esse comportamento demonstra que inicialmente, a absorção e/ou redistribuição interna de magnésio e manganês foi suficiente para elevar os seus níveis foliares, decrescendo, posteriormente, apesar da quantidade total acumulada na parte aérea continuar a crescer (FIGURAS 18 e 20).

O cálcio foliar apresentou efeito interativo entre a irrigação e as doses de gesso (FIGURA 46). Observa-se, no entanto, um comportamento semelhante ao do Mg e do Mn, ou seja, um ganho entre os níveis 1 e 2 de irrigação, e um decréscimo para o nível 3, que apresentou teores até inferiores aqueles do nível 1 de irrigação.

Mg total (g/planta)

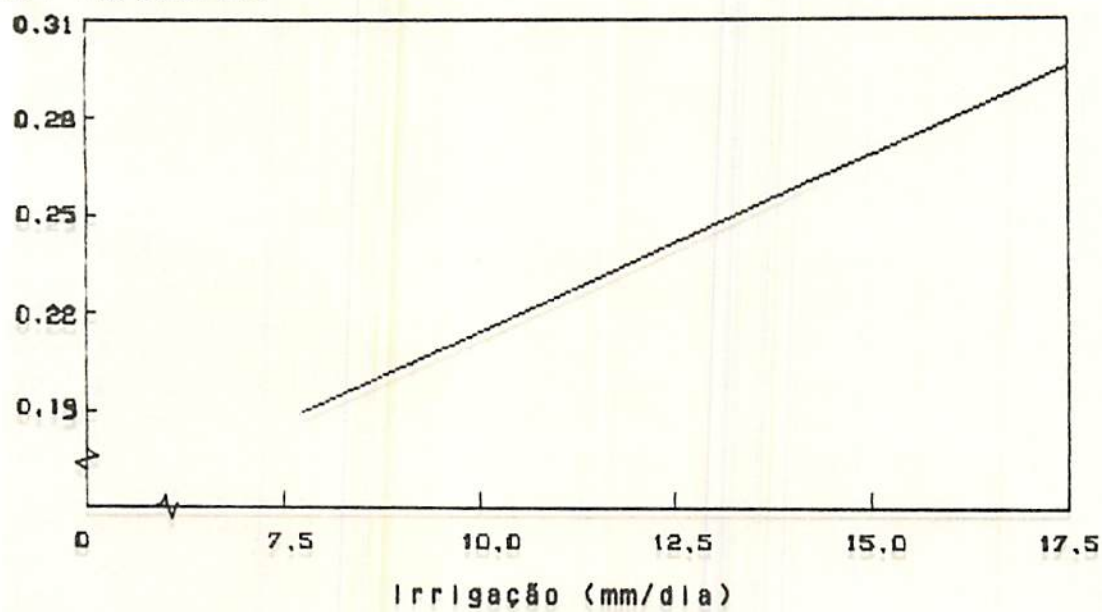


FIGURA 18: Magnésio total acumulado na parte aérea em função da irrigação.

Zn total (mg/planta)

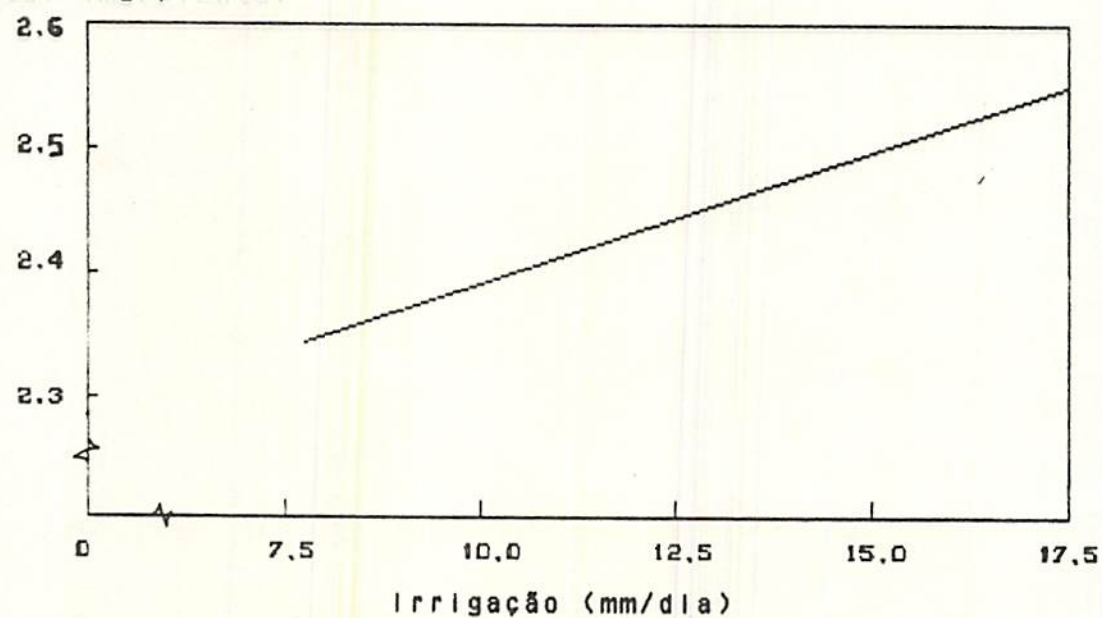


FIGURA 19: Zinco total acumulado na parte aérea em função da irrigação.

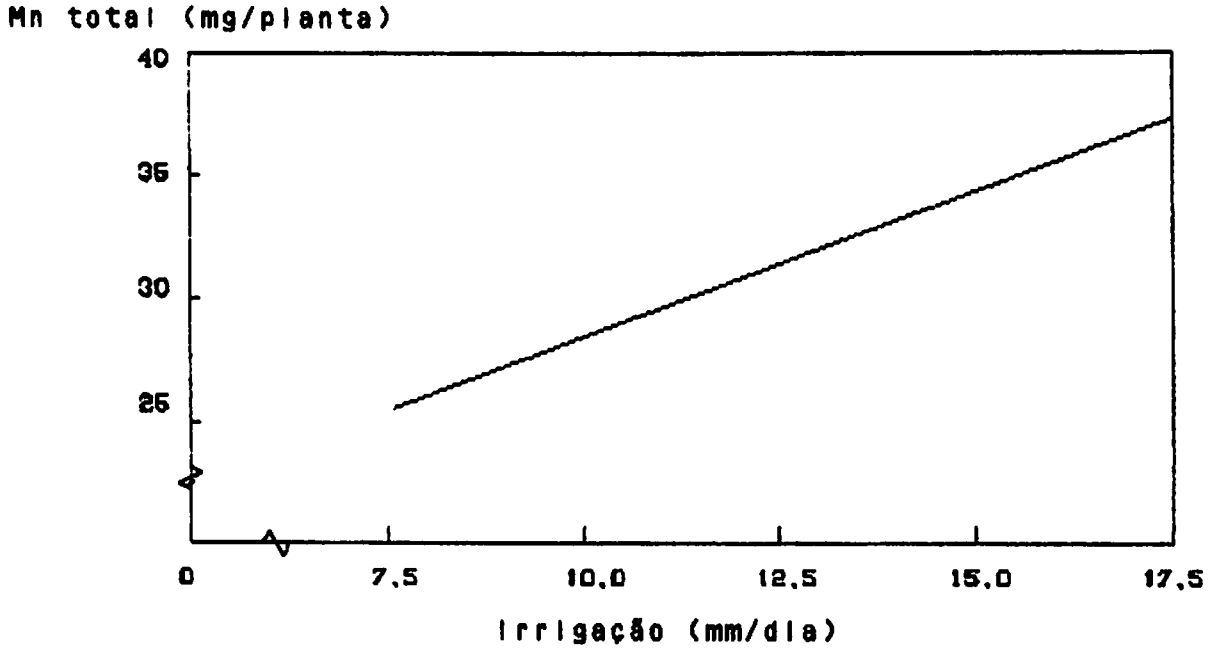


FIGURA 20: Manganês total acumulado na parte aérea em função da irrigação.

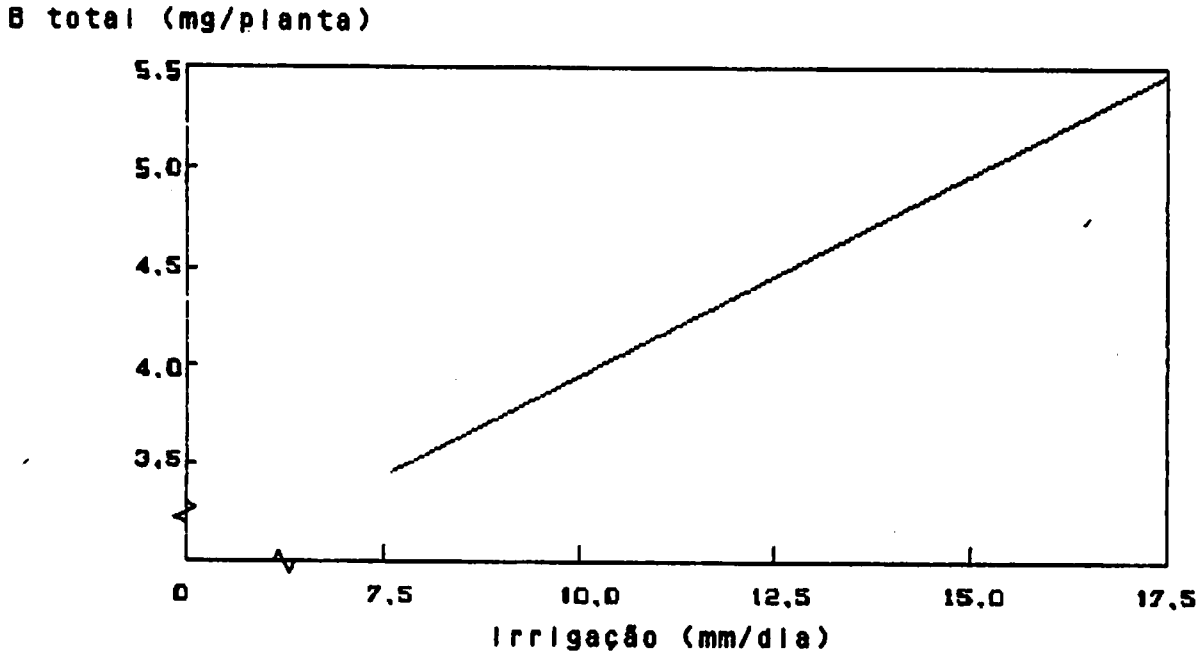


FIGURA 21: Boro total acumulado na parte aérea em função da irrigação.

Cu total (mg/planta)

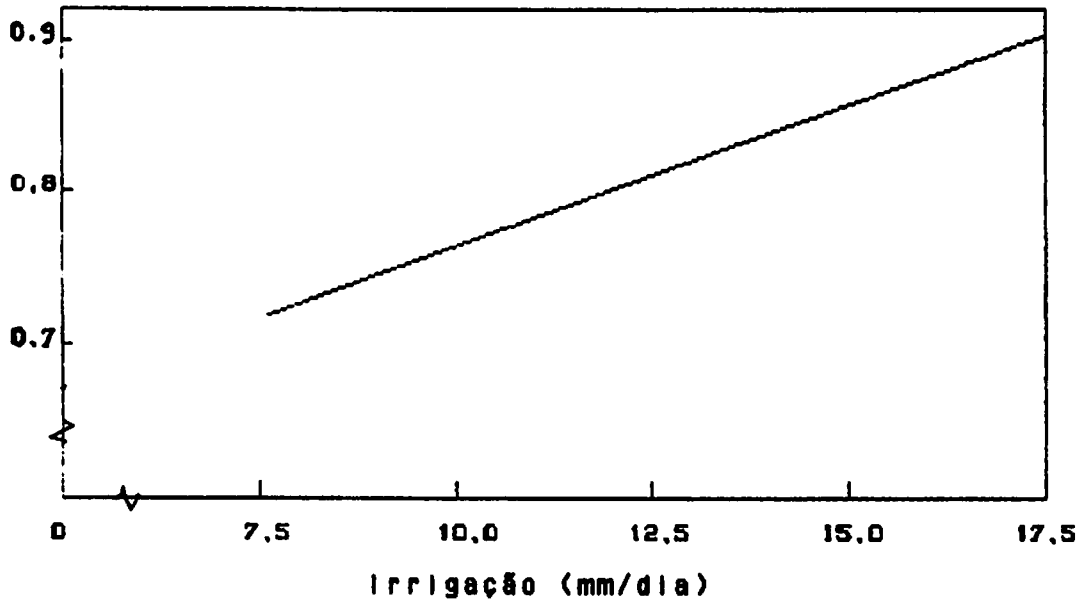


FIGURA 22: Cobre total acumulado na parte aérea em função da irrigação.

N total (g/planta)

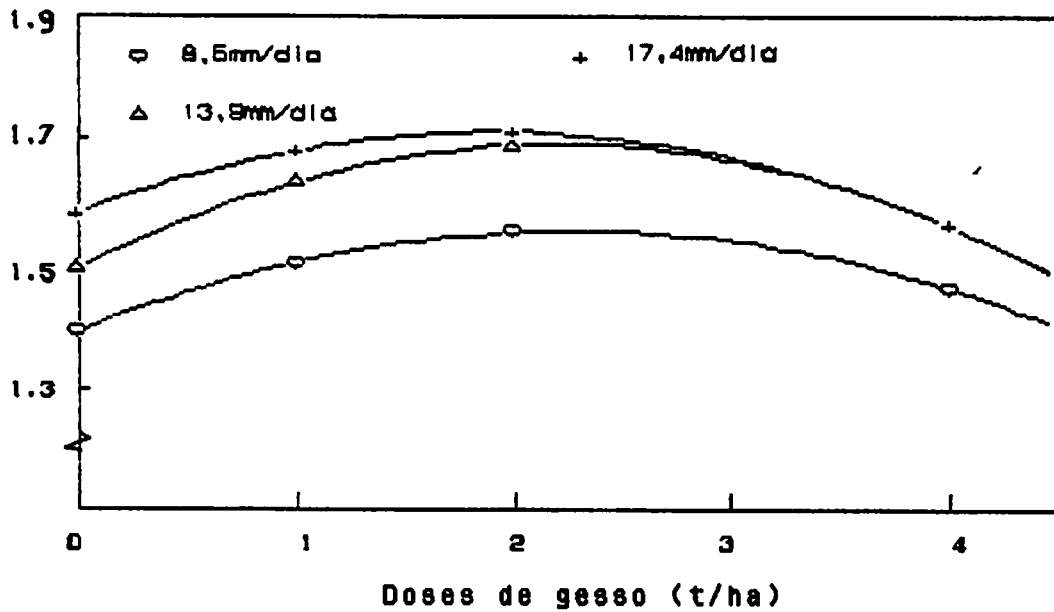


FIGURA 23: Nitrogênio total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.

K total (g/planta)

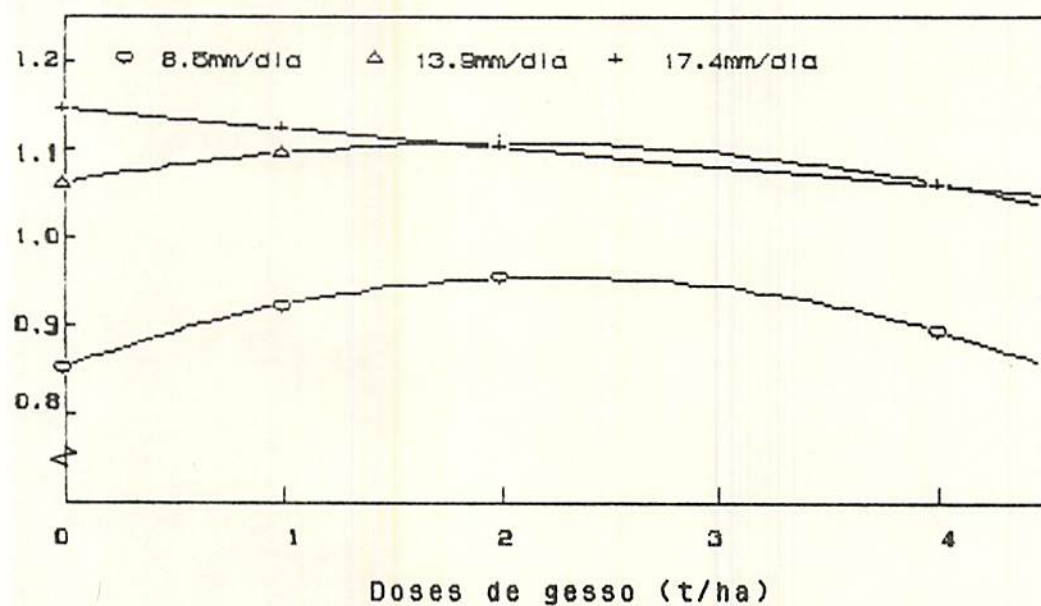


FIGURA 24: Potássio total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.

Ca total (g/planta)

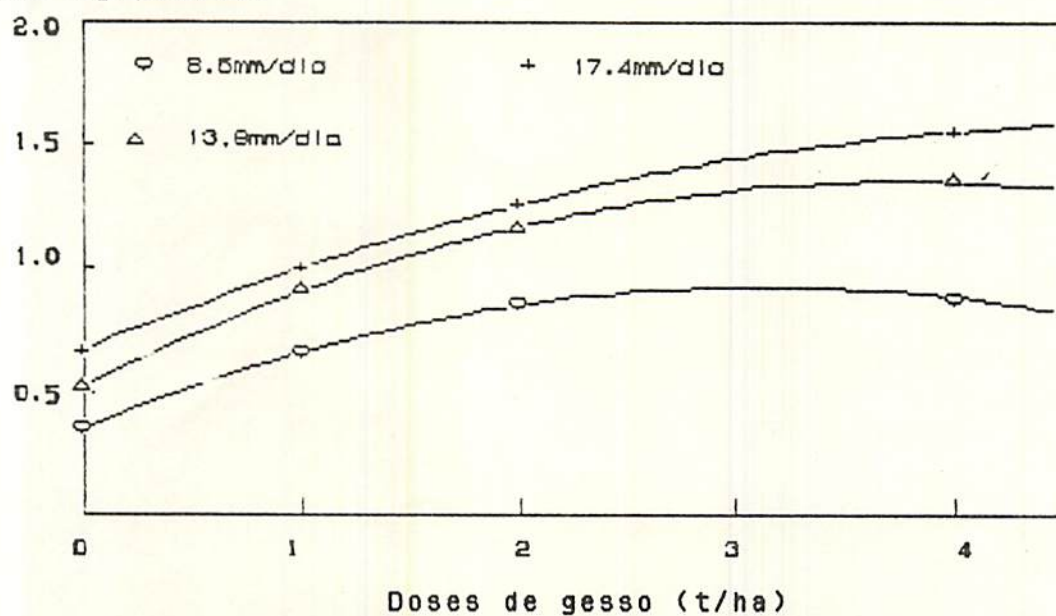


FIGURA 25: Cálcio total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.

S total (g/planta)

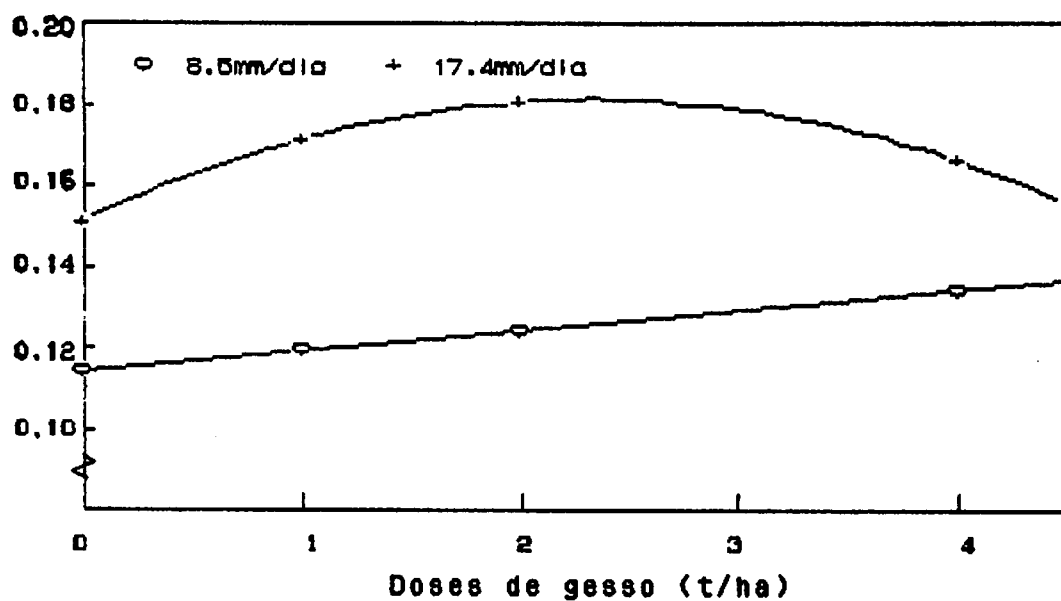


FIGURA 26: Enxofre total acumulado na parte aérea em função da dose de gesso e da irrigação.

P total (mg/planta)

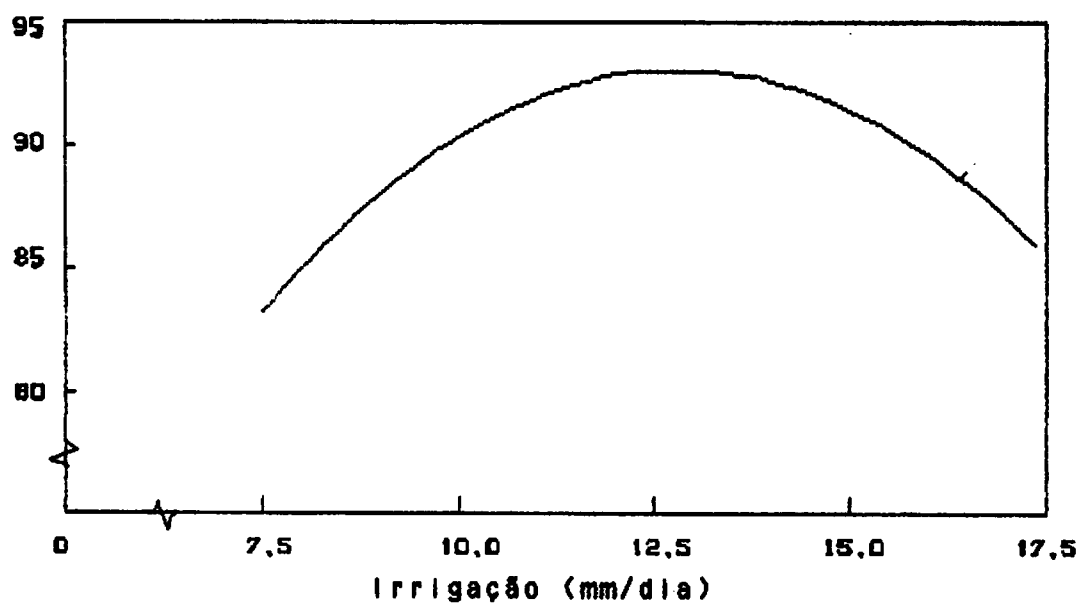


FIGURA 27: Fósforo total acumulado na parte aérea em função da irrigação.

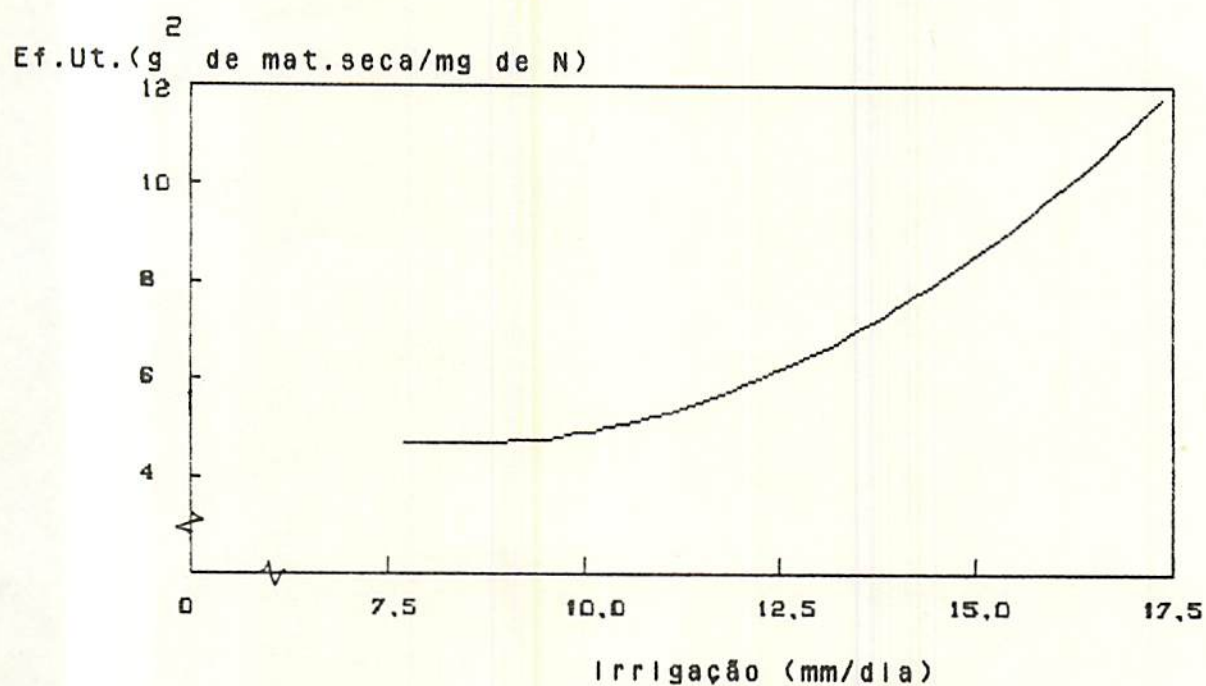


FIGURA 28: Eficiência de utilização do nitrogênio em função da irrigação.

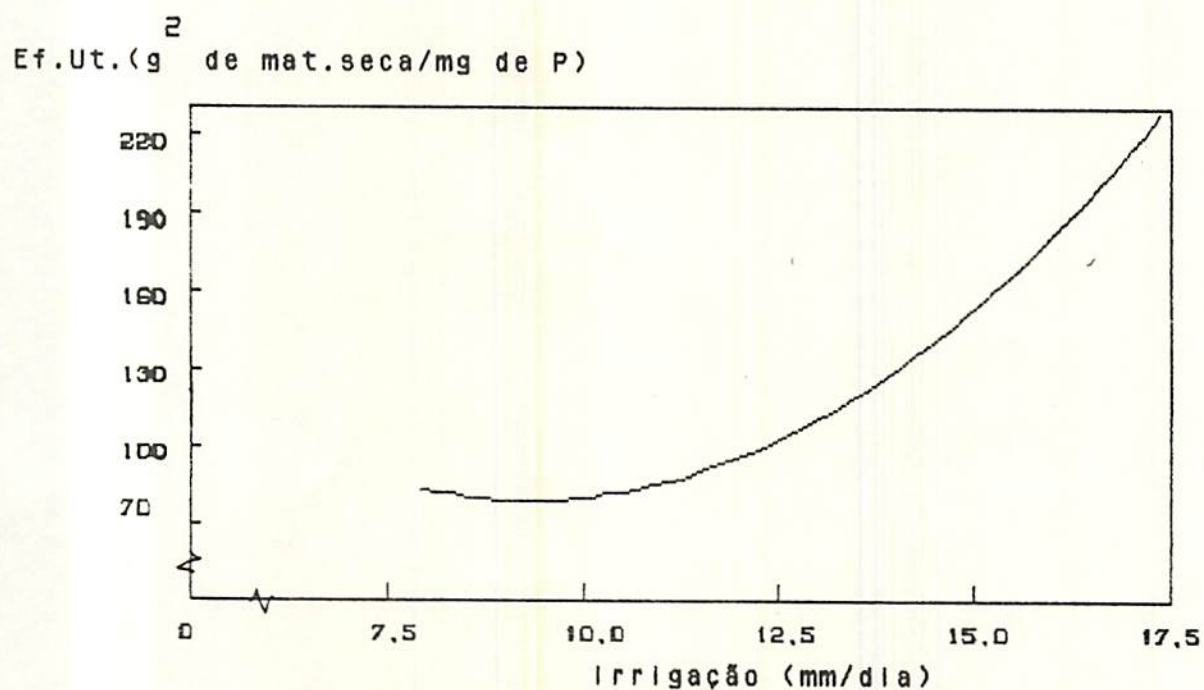


FIGURA 29: Eficiência de utilização do fósforo em função da irrigação.

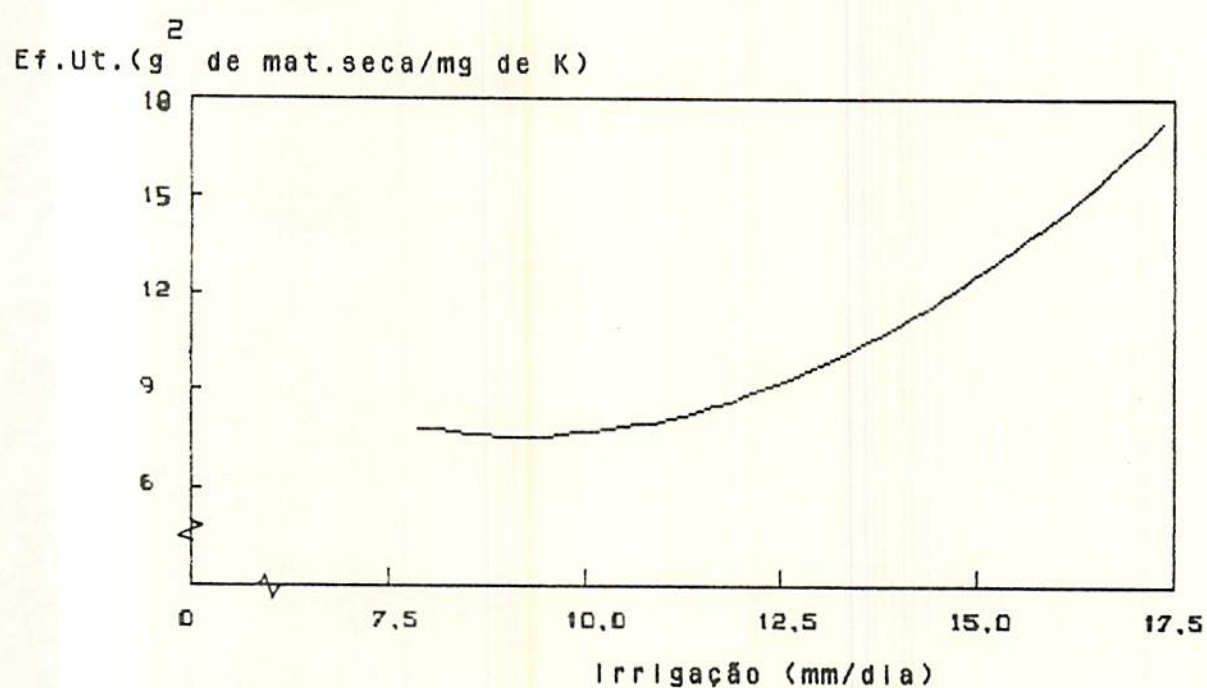


FIGURA 30: Eficiência de utilização do potássio em função da irrigação.

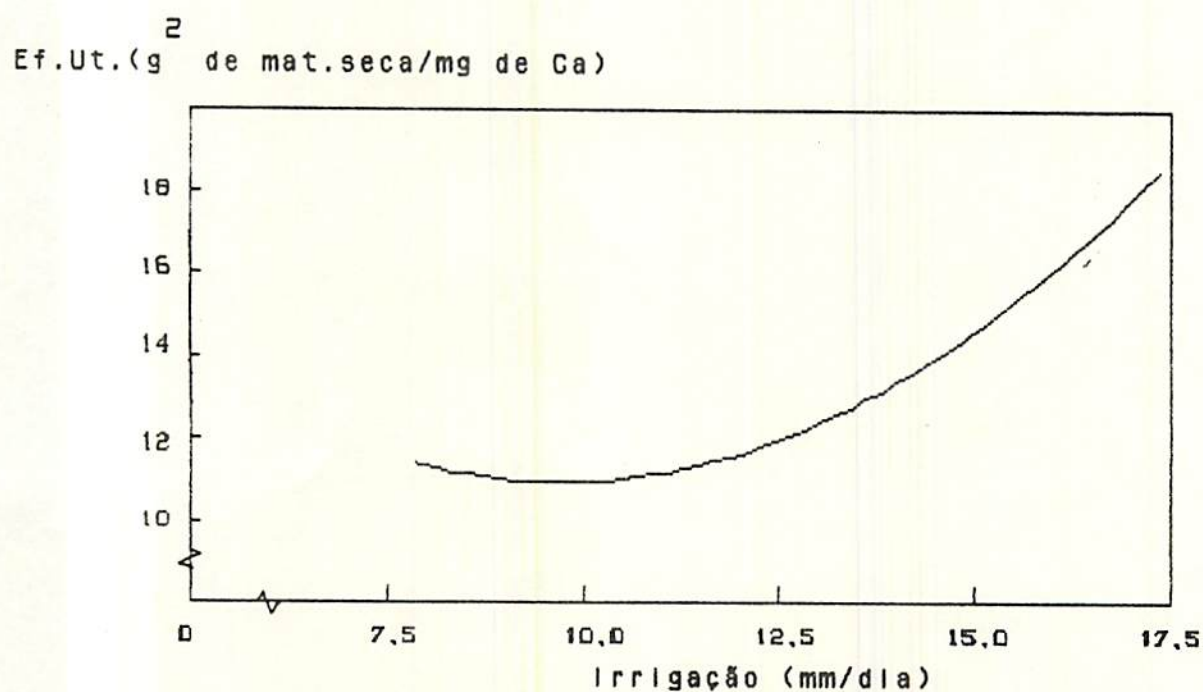


FIGURA 31: Eficiência de utilização do cálcio em função da irrigação.

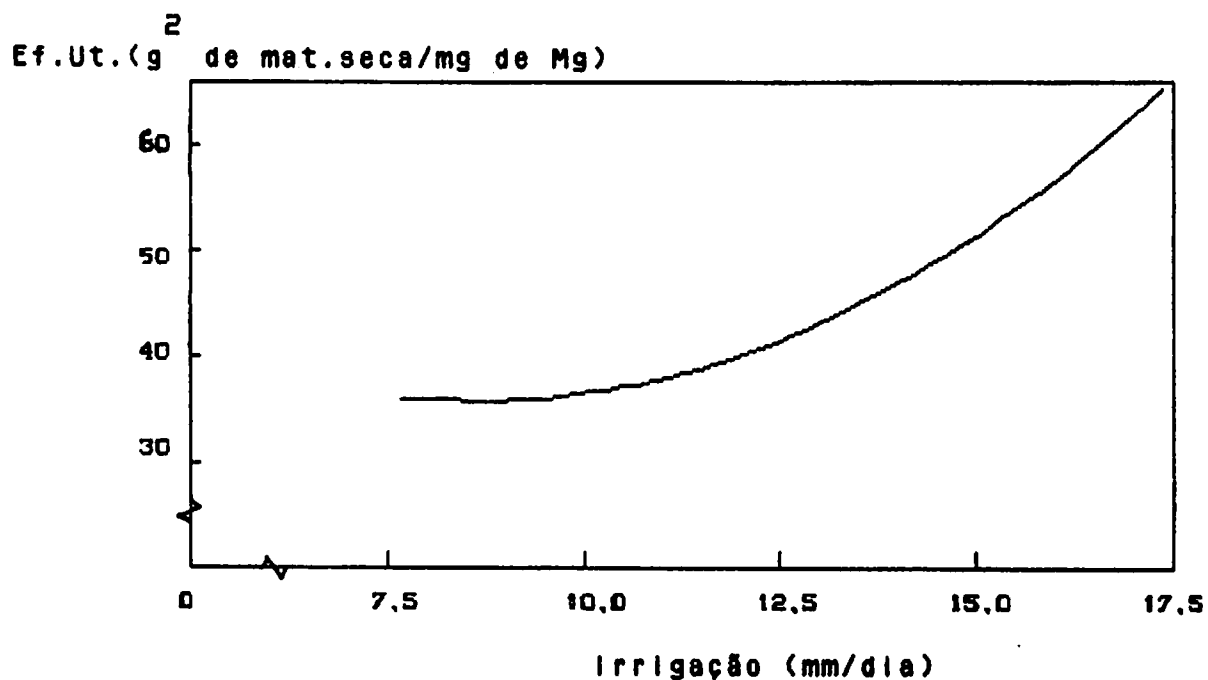


FIGURA 32: Eficiência de utilização do magnésio em função da irrigação.

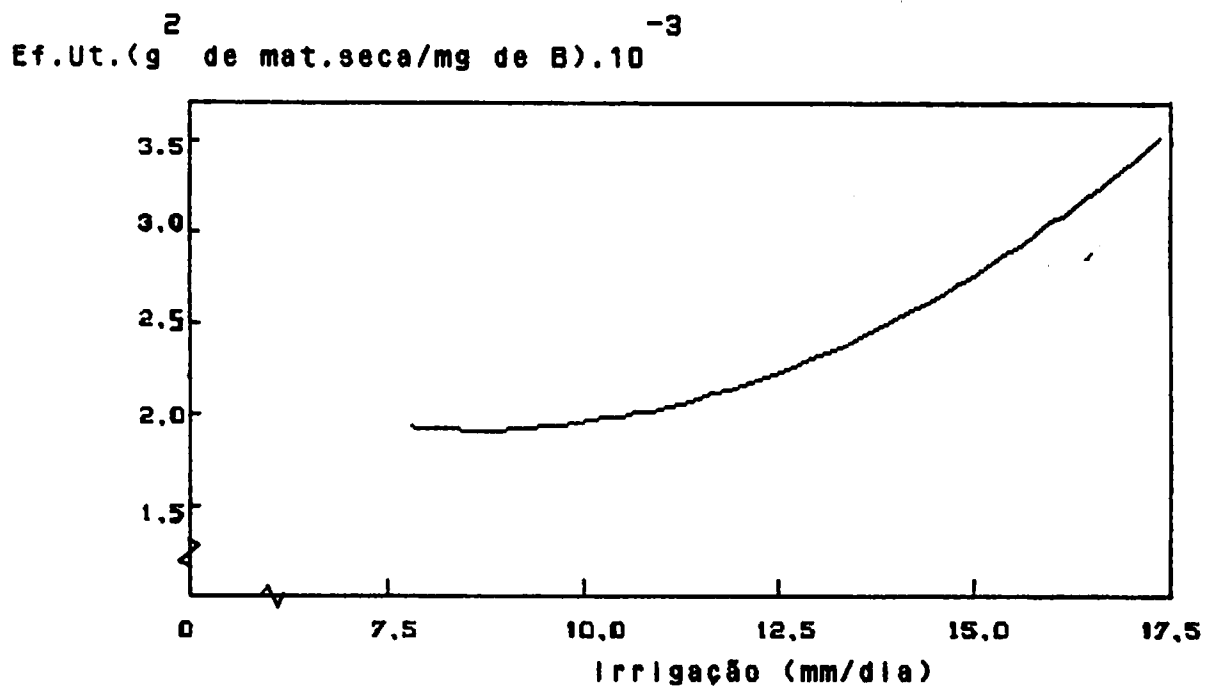


FIGURA 33: Eficiência de utilização do boro em função da irrigação.

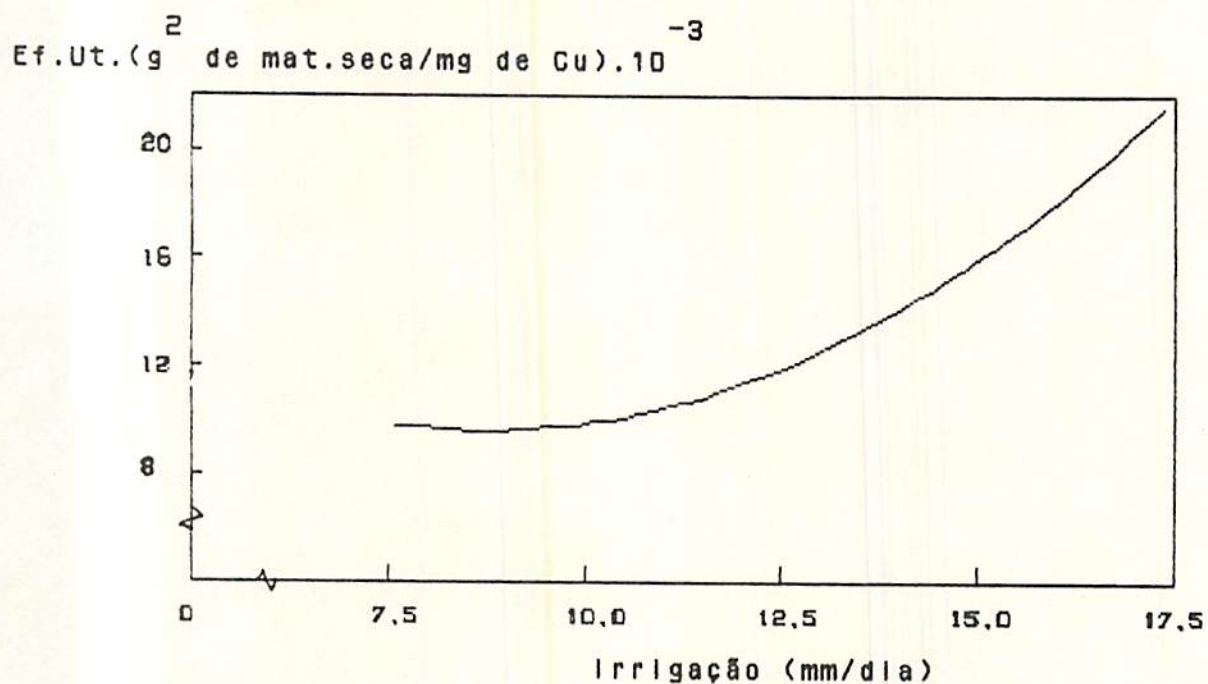


FIGURA 34: Eficiência de utilização do cobre em função da irrigação.

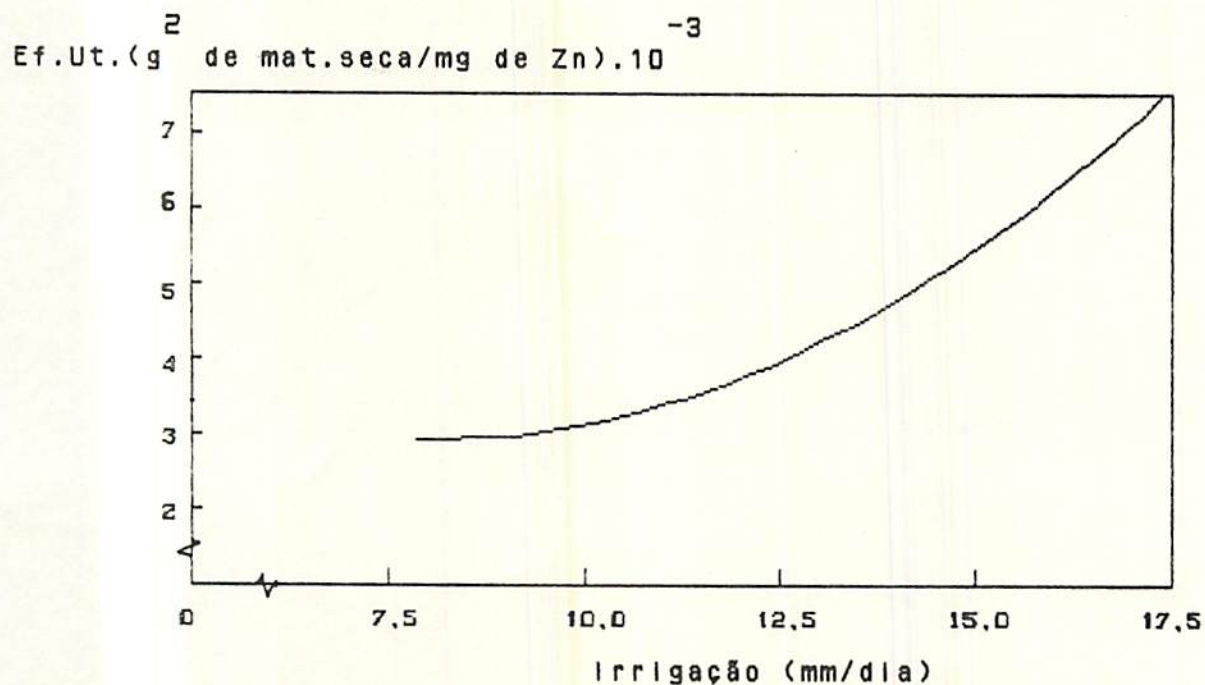


FIGURA 35: Eficiência de utilização do zinco em função da irrigação.

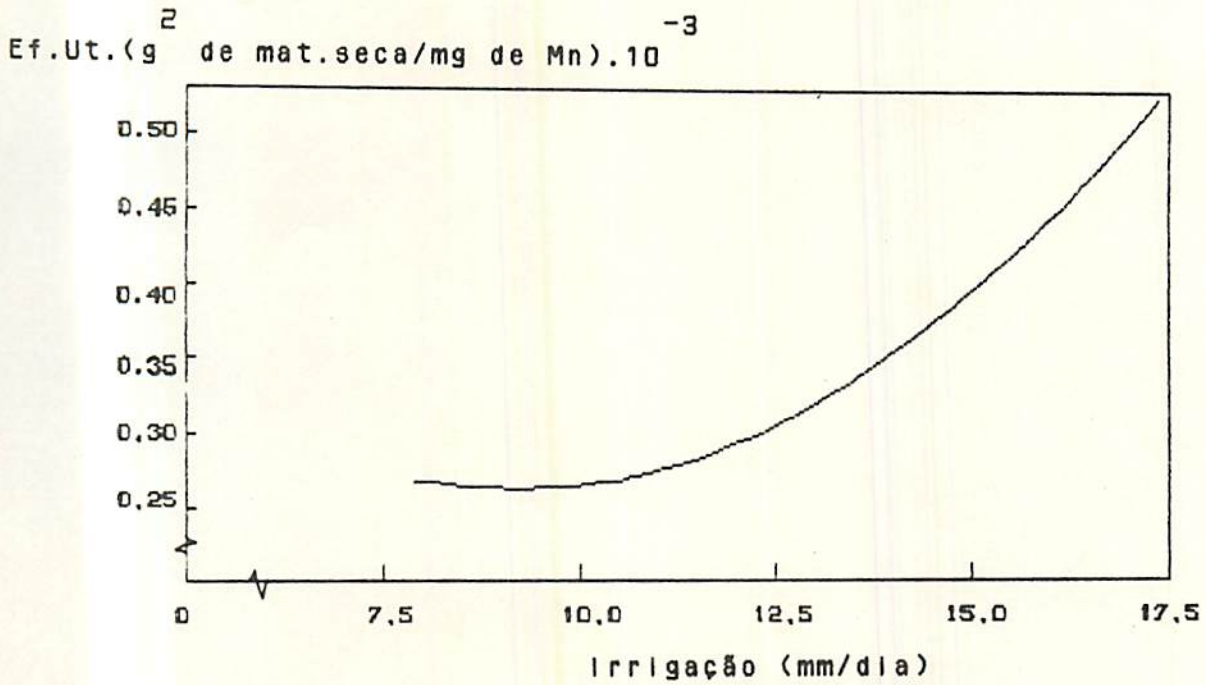


FIGURA 36: Eficiência de utilização do manganês em função da irrigação.

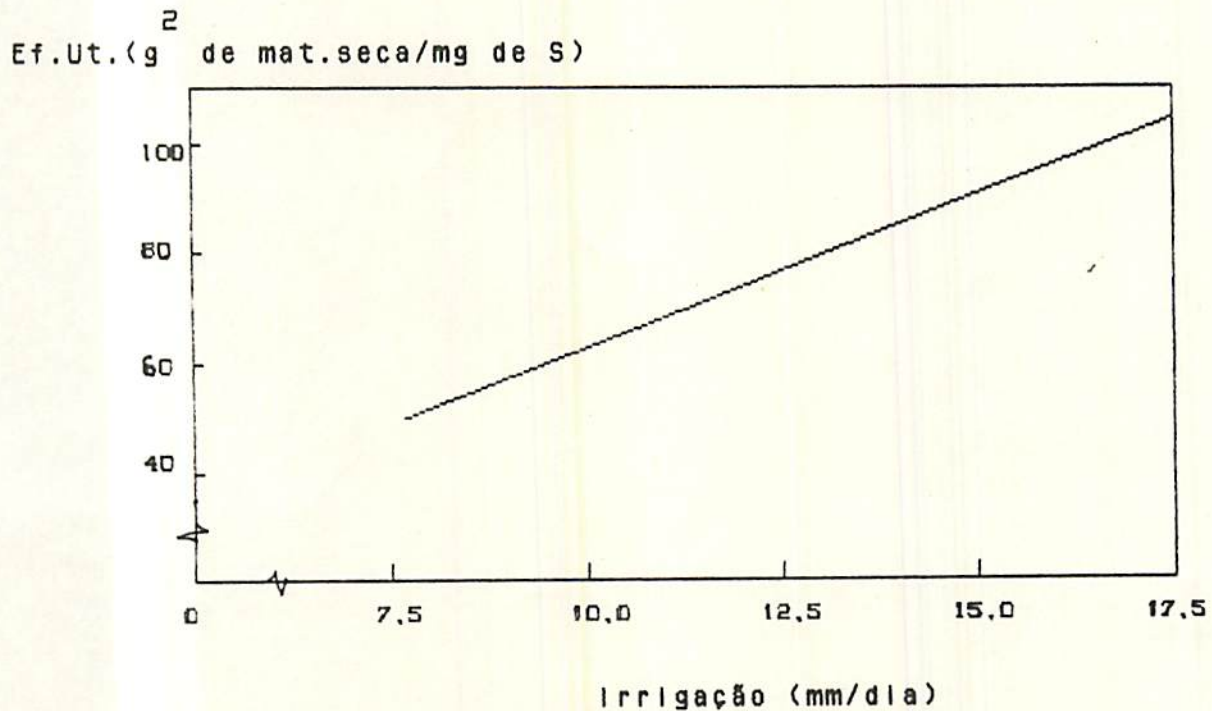


FIGURA 37: Eficiência de utilização do enxofre em função da irrigação.

N(%)

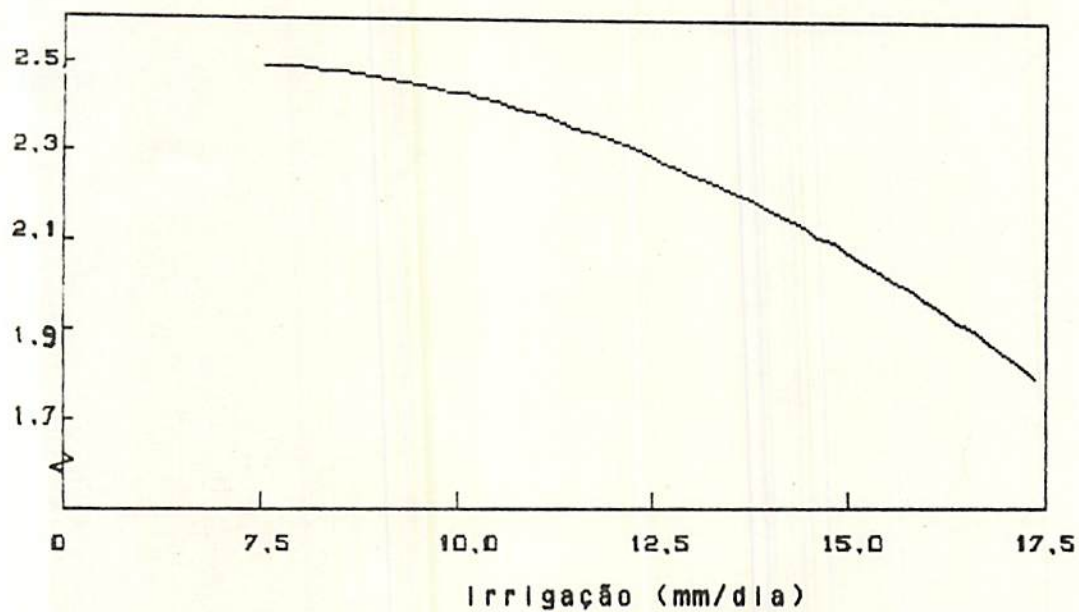


FIGURA 38: Concentração de nitrogênio nas folhas em função da irrigação.

P(%)

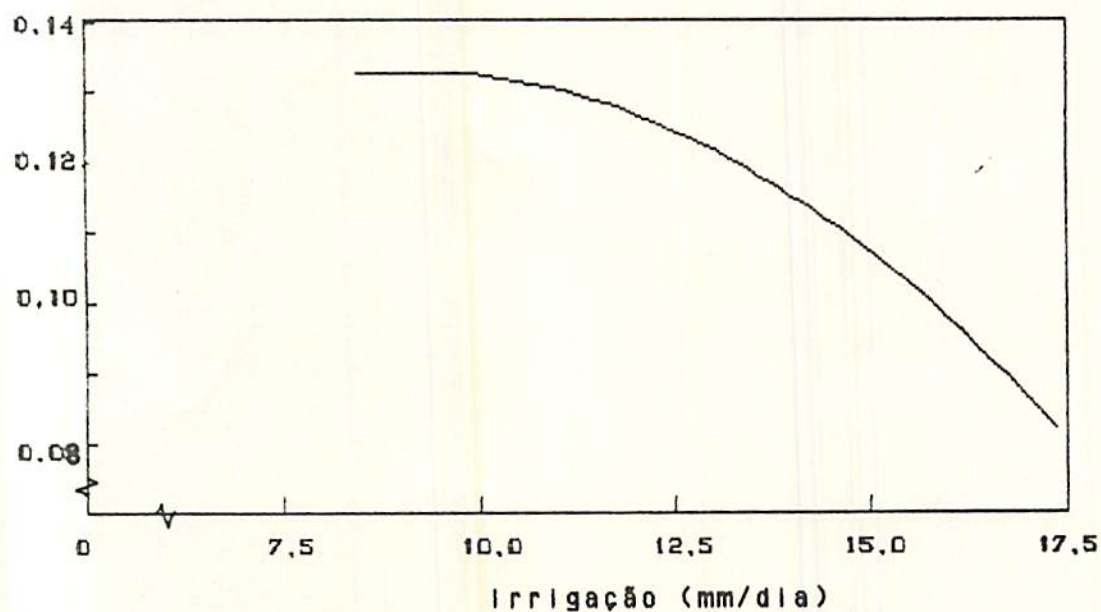


FIGURA 39: Concentração de fósforo nas folhas em função da irrigação.

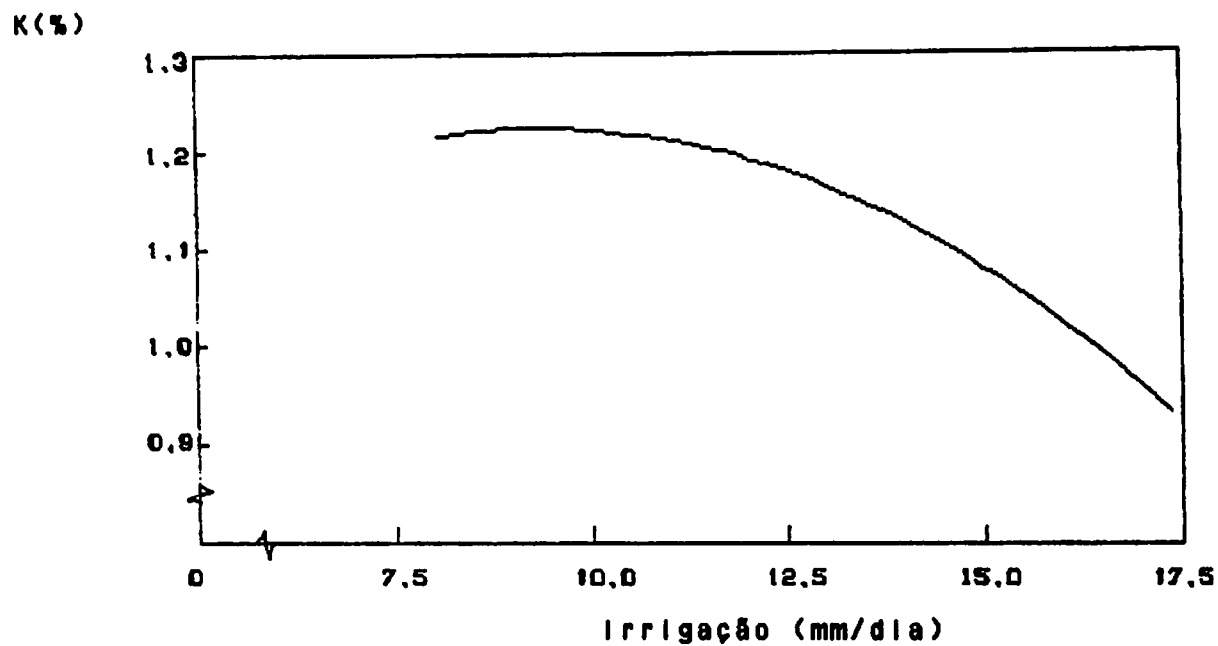


FIGURA 40: Concentração de potássio nas folhas em função da irrigação.

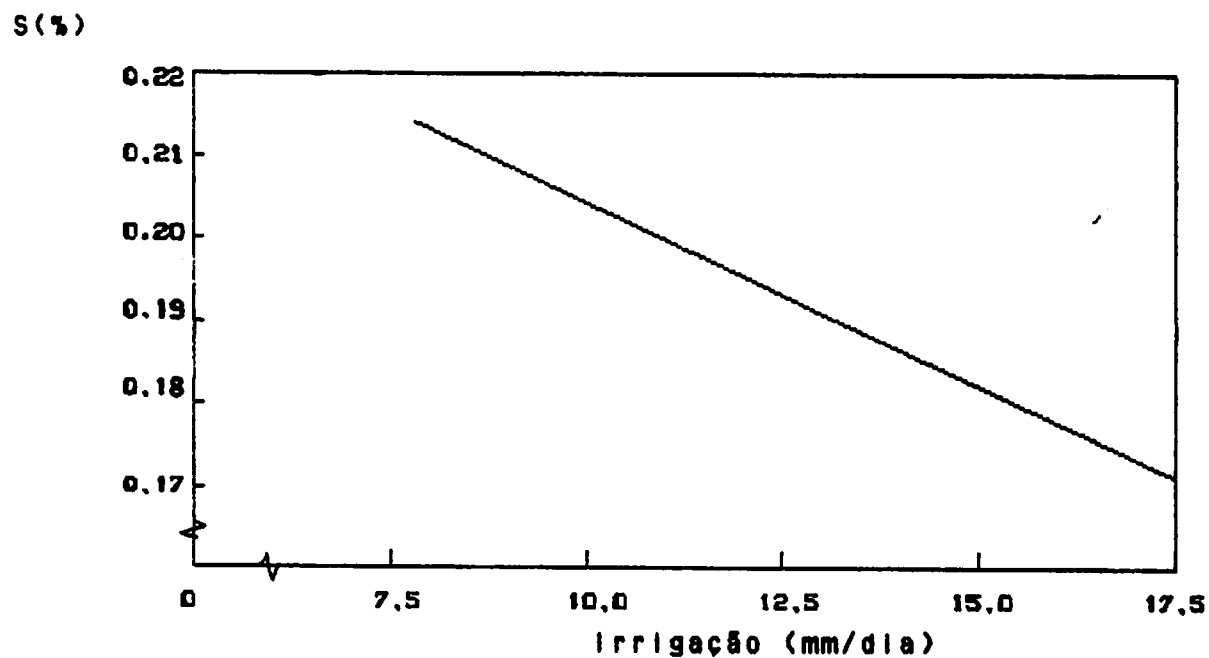


FIGURA 41: Concentração de enxofre nas folhas em função da irrigação.

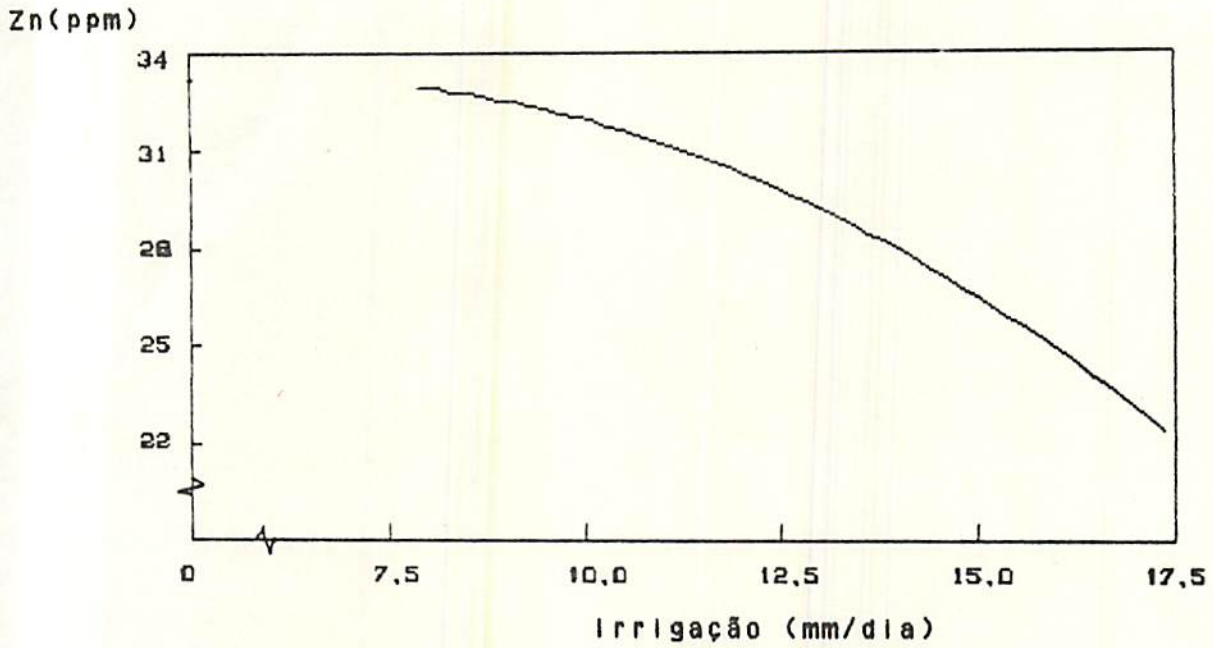


FIGURA 42: Concentração de zinco nas folhas em função da irrigação.

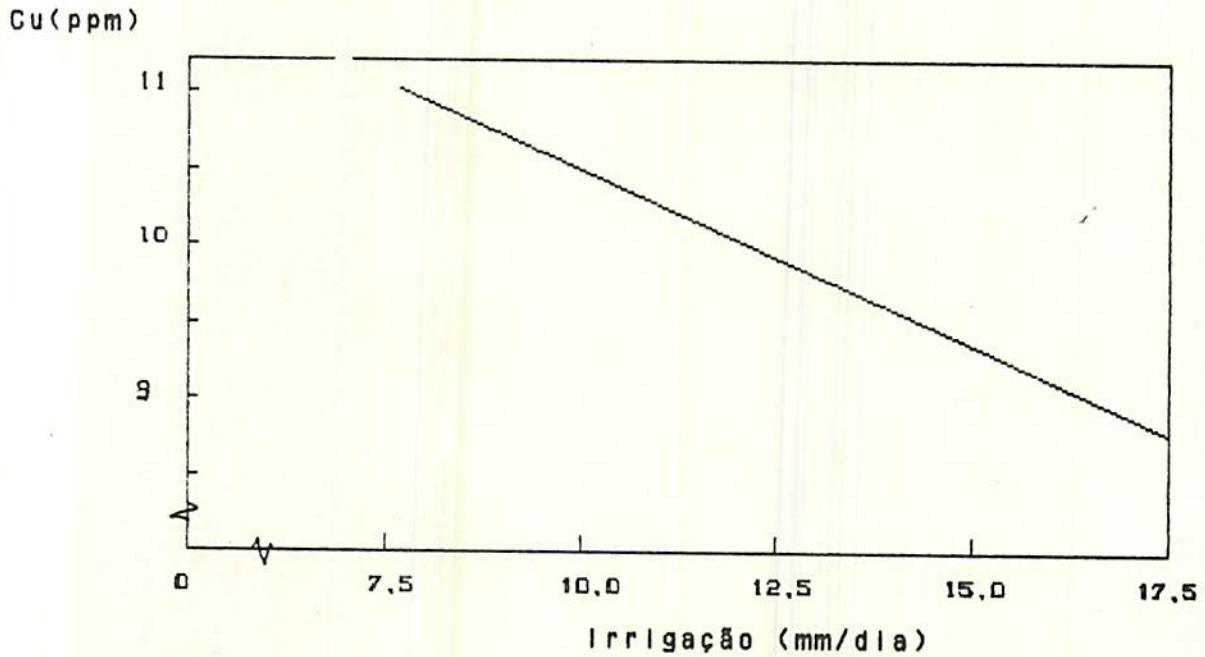


FIGURA 43: Concentração de cobre nas folhas em função da irrigação.

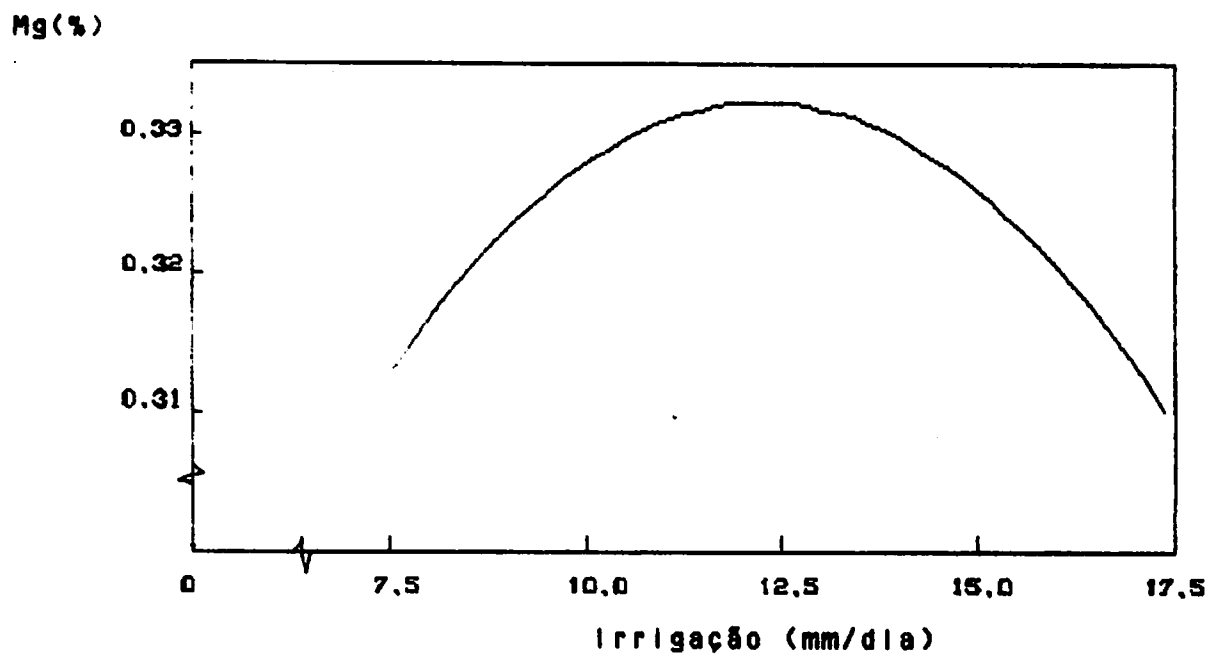


FIGURA 44: Concentração de magnésio nas folhas em função da irrigação.

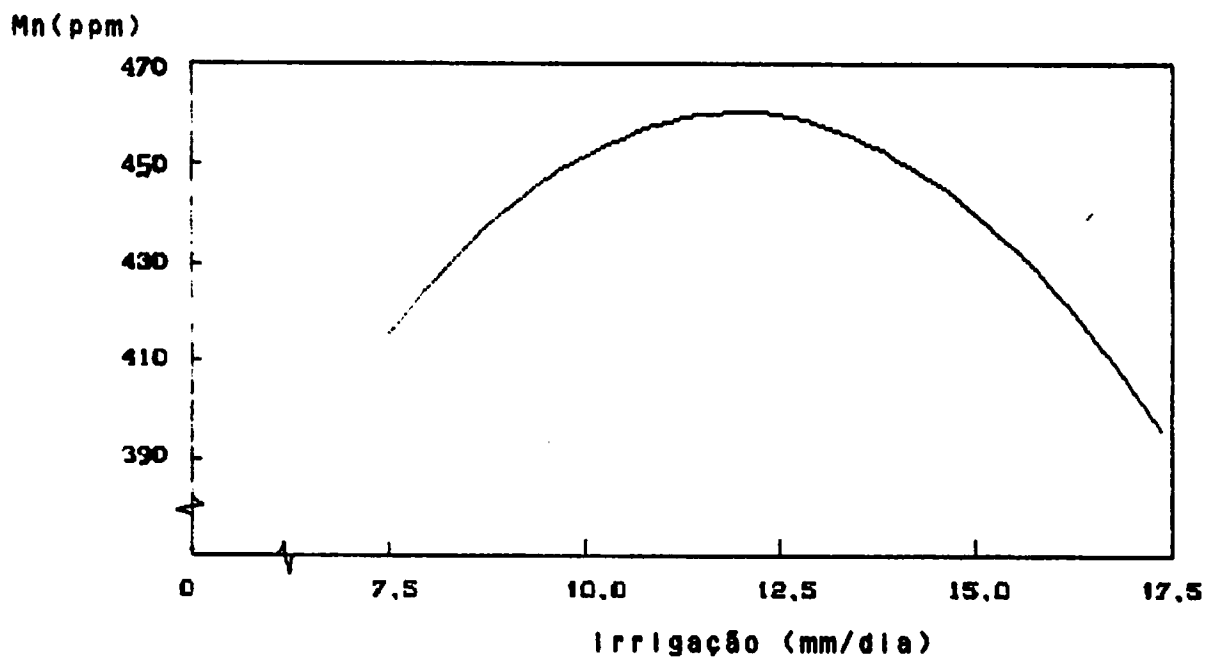


FIGURA 45: Concentração de manganês nas folhas em função da irrigação.

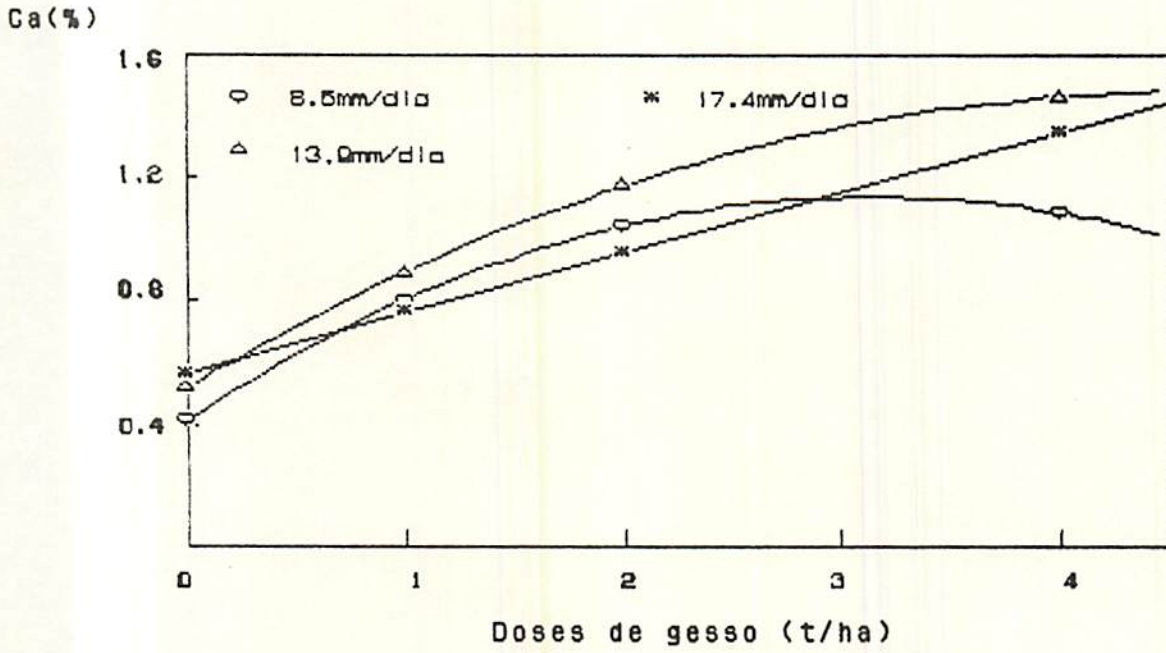


FIGURA 48: Concentração de cálcio nas folhas em função da irrigação e das doses de gesso.

A redução da concentração foliar dos nutrientes minerais avaliados (FIGURAS 38 a 46), corrobora com o aumento da eficiência de utilização dos mesmos (FIGURAS 28 a 37), quando do aumento da irrigação. Tal fato evidencia a ocorrência de uma diluição na concentração dos nutrientes, com o aumento da matéria seca das plantas (MALAVOLTA, 1980); isto é, apesar do aumento da irrigação trazer consigo o aumento da quantidade total acumulada dos nutrientes na parte aérea (FIGURAS 18 a 27), o seu efeito sobre a produção de matéria seca foi ainda mais acentuado (FIGURA 14), provocando tal fenômeno.

A aquisição limitada dos nutrientes pode estar relacionada ao volume restrito de solo explorado pelas raízes, haja vista a alta concentração radicular na camada de 0-20 cm de profundidade (FIGURA 17). Vale ressaltar que a relação R/P não se alterou com a irrigação (Quadro 13A), demonstrando que o ganho de matéria seca na parte aérea foi sempre acompanhado de crescimento equivalente das raízes.

5.2.3. Efeito do gesso no crescimento do *Eucalyptus grandis*

A matéria seca da parte aérea do *Eucalyptus grandis* aumentou segundo um modelo quadrático, em função das doses de gesso (FIGURA 47). A altura das plantas também apresentou a mesma tendência (FIGURA 48). A partir das equações de regressão (Quadro 15A), obtem-se o valor de 2,5 t de gesso/ha como o ponto de máximo acúmulo de matéria seca total na parte aérea e de altura máxima da planta. Esse comportamento demonstra que, nas

Tronco - Folhas
(g/planta)

Galhos - P.aérea
(g/planta)

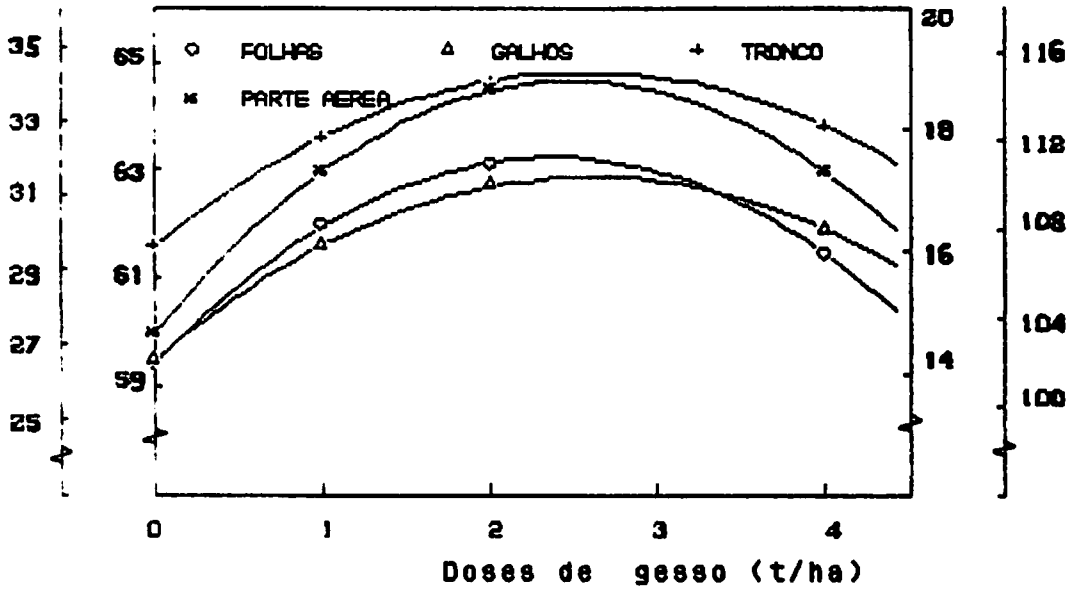


FIGURA 47: Produção de matéria seca na parte aérea em função das doses de gesso e da irrigação.

Altura (cm)

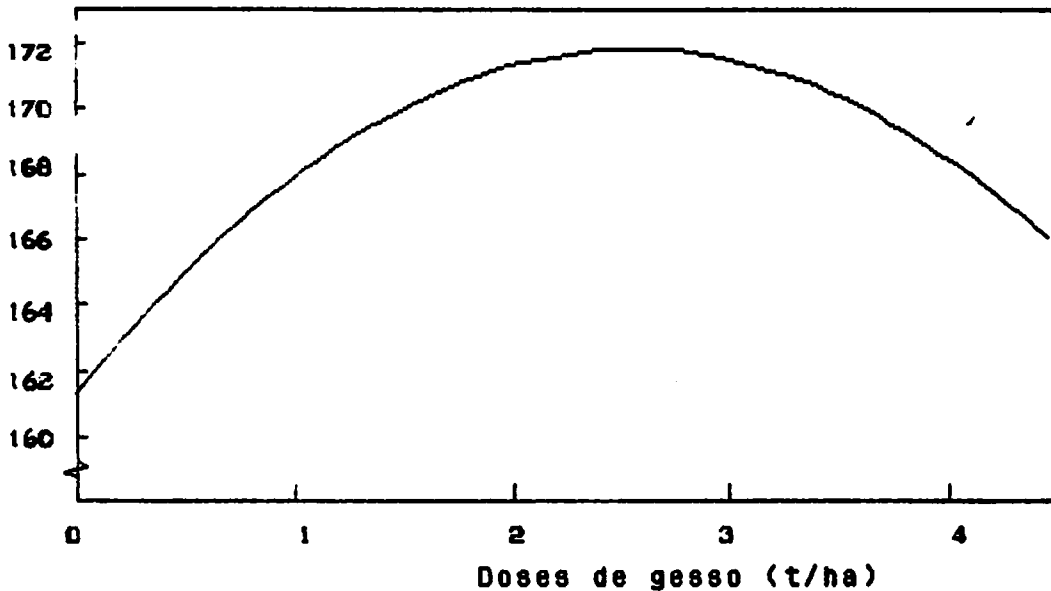


FIGURA 48: Altura das plantas em função das doses de gesso.

condições experimentais do presente estudo, inicialmente o gesso apresentou um efeito benéfico sobre o crescimento da parte aérea do *E. grandis*. No entanto, esse efeito tornou-se depressivo ao crescimento das plantas, quando quantidades superiores a 2,5t de gesso/ha foram aplicadas ao solo.

O diâmetro do caule e a matéria seca total de raízes, bem como a sua distribuição em profundidade no solo, não se alteraram em função das doses de gesso (Quadros 14A e 08).

A relação entre a matéria seca total de raízes e parte aérea (R/P) também não se modificou em função do gesso (Quadro 14A), discordando da proposição de KRAMER (1969) de que usualmente a relação R/P diminui, com o aumento da disponibilidade de certos nutrientes minerais no solo, dentre eles o cálcio.

A virtual ausência de resposta radicular do *E. grandis* ao uso do gesso, notadamente abaixo de 20 cm de profundidade, nas condições do presente estudo, sugere que o nível crítico de cálcio no solo para o crescimento radicular dessa espécie seria inferior a 0,05 meq/100 cm³, ou 6% da CTC efetiva. Esses valores correspondem aos níveis originais de cálcio no material de subsolo utilizado (Quadro 03). É conveniente ressaltar que no nível 3 de irrigação e na dose de 4t de gesso/ha, os teores de cálcio atingiram 0,50 a 0,70 meq /100 cm³, na profundidade entre 20 e 40 cm (FIGURA 6). Esses teores são superiores a 0,20meq Ca²⁺/100 cm³, proposto como crítico por BARRROS et alii (1982) e NOVAIS et alii (1986), para o crescimento inicial do *E. grandis*. Por outro lado, NEVES et alii (1990) relatam a observação de

crescimento normal de raízes de eucalipto em solo, cujos níveis de cálcio trocável eram próximos a zero.

Para o trigo, RITCHEY et alii (1983) obtiveram um valor crítico entre 0,02 e 0,05 meq de $\text{Ca}^{2+}/100$ g para o crescimento de raízes, enquanto GOEDERT et alii (1985) sugerem um teor ainda menor para o capim andropogon. KHANA & ULRICH (1984) indicam 5% de saturação da CTC efetiva do solo com cálcio, como o nível mínimo requerido para as espécies florestais. Esses dados dão respaldo aos resultados obtidos no presente estudo, bem como sugerem trabalhos futuros, sob condições controladas ou de campo, onde se avalie o efeito da disponibilidade de água no solo sobre o nível crítico de cálcio para o crescimento radicular do eucalipto.

Alguns trabalhos envolvendo o uso do gesso relatam respostas em termos de crescimento radicular. é o caso do milho (RITCHEY et alii, 1980; SOUZA & RITCHEY, 1986; CARVALHO et alii, 1986; FARINA & CHANNON, 1988), da macieira (Pavan & Bingham, 1986; citados RAIJ, 1988), da soja (BRUCE et alii, 1988), do cafeeiro (PAVAN et alii, 1984; Chaves et alii, 1987, citados por RAIJ) e do algodoeiro (SILVA, 1990). Contudo, BLACK & CAMERON (1984) e DAL BO et alii (1986 b) verificaram para a alfafa e a cana-de-açúcar, respectivamente, uma tendência de redução no crescimento radicular, com o uso do gesso. Esses resultados, aparentemente contraditórios, certamente podem ser explicados pelas diferenças nos teores de cálcio e/ou alumínio trocáveis nos materiais de solo testados, assim como pela tolerância diferenciada das espécies ao alumínio e requerimento de cálcio (FOY, 1974 a,b).

Vale lembrar que o gesso, além de fornecer cálcio ao solo, normalmente, reduz a toxicidade do alumínio (PAVAN et alii, 1982; DIAS et alii, 1984; PAVAN & VOLKWEISS, 1986; NOBLE et alii, 1988; BRUCE et alii, 1988). No entanto, certamente o eucalipto não se beneficiou de tal efeito, visto ser uma planta altamente tolerante ao alumínio (NEVES et alii, 1982).

Outro aspecto observado por FARINA & CHANNON (1988) e SILVA (1990) foi a redução no crescimento de raízes na região do solo onde se localizou o pulso de acumulação do sulfato. Esses autores atribuíram o fenômeno a distúrbios nutricionais, envolvendo o metabolismo do nitrato. Tal comportamento, no entanto, não foi observado para o *Eucalyptus grandis*, tendo em vista a ausência de resposta radicular da espécie ao uso de gesso no solo (Quadros 08 e 14A).

5.2.4. Efeito do gesso na nutrição mineral do *Eucalyptus grandis*

Neste item será mostrado como o gesso influenciou na nutrição mineral do *E. grandis*, buscando também identificar a(s) causa(s) para o comportamento observado em termos de crescimento da parte aérea.

Os nutrientes N, S, P, Zn e B provavelmente podem ser descartados dentre aquele(s) condicionante(s) ao crescimento diferenciado das plantas. Tal proposição baseia-se nas curvas de total acumulado na parte aérea desses nutrientes (FIGURAS 23 e 26, 49 a 51), as quais têm comportamento semelhante àquelas de produção de matéria seca (FIGURA 47). Além disso, somente o Zn

teve a sua eficiência de utilização influenciada pelo gesso (FIGURA 52), mas a curva também se aproxima do modelo de produção de matéria seca (FIGURA 47), evidenciando a ocorrência de uma diluição da concentração do nutriente, com o aumento da matéria seca. Por outro lado, não detectou-se alteração nos teores foliares de N, P, S e Zn, devido ao uso do gesso (Quadro 14A).

Apesar do presente estudo envolver o crescimento do *E. grandis* na sua fase inicial, as concentrações dos nutrientes minerais nas folhas será utilizada para auxiliar na interpretação dos resultados. É conveniente ressaltar no entanto, das limitações de tal procedimento, devido à mobilidade diferenciada dos nutrientes na planta e da atividade fisiológica do tecido. (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et alii, 1989). Problemas como a idade da folha, posição na copa, estágio de crescimento da planta e época de amostragem podem exercer grande influência nos teores foliares dos nutrientes minerais (LEAF, 1973; MEAD, 1984).

Segundo SCHONAU (1983), os teores foliares ótimos em folhas maduras de *E. grandis*, coletadas no terço superior da copa de árvores adultas são: N > 2,0%; P = 0,15 a 0,16%; K = 0,7%; Ca > 1,0%; Mg = 0,3%; S = 0,17 a 0,19%; Zn < 20 ppm; Cu < 18 ppm. Posto isto, aparentemente os níveis de N, P, S e Zn podem ser considerados satisfatórios para o crescimento das plantas.

O boro nas folhas aumentou linearmente com as doses de gesso (FIGURA 53), sendo que os valores aparentemente foram adequados. MALAVOLTA et alii (1989) propõem a faixa de 40 a 50 ppm de B em folhas recém-maduras de *Eucalyptus* spp.

P total (mg/planta)

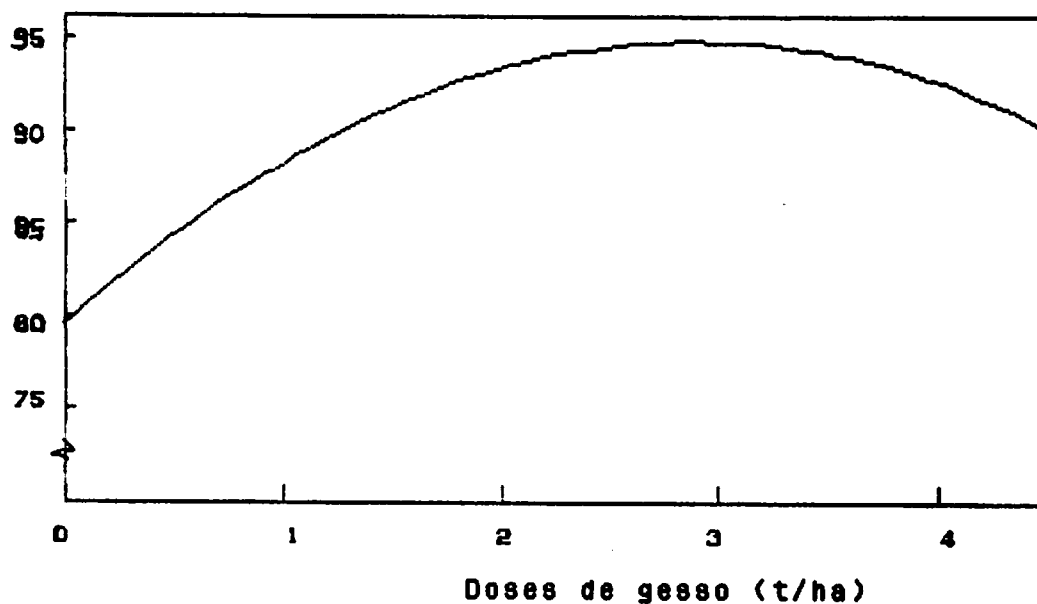


FIGURA 49: Fósforo total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.

Zn total (mg/planta)

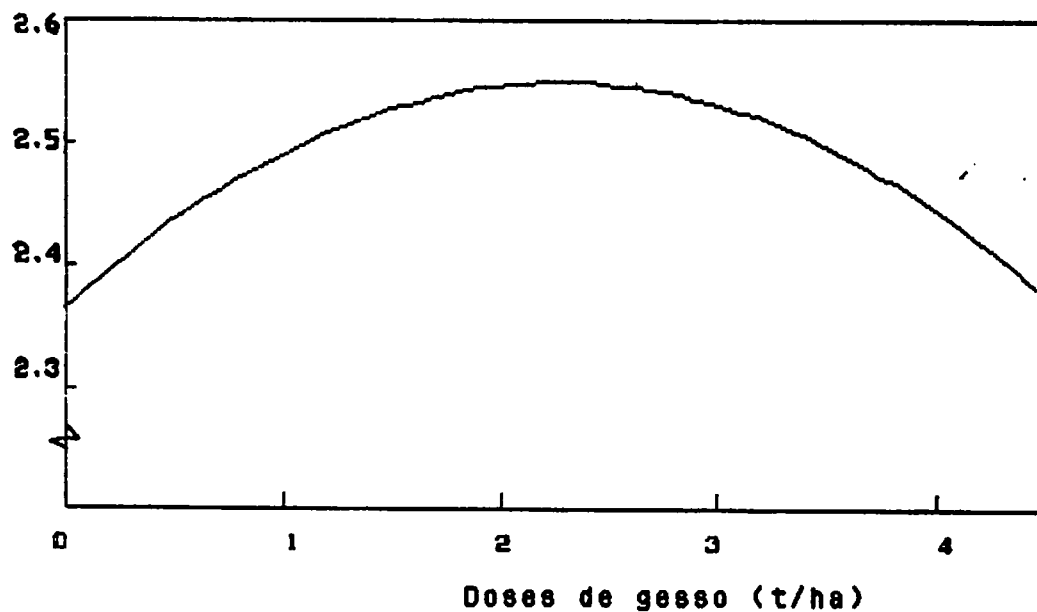


FIGURA 50: Zinco total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.

Resultados semelhantes para o N, P, S, Zn e B na planta foram relatados em outros trabalhos com gesso, ressaltando no entanto, que os teores de N e S normalmente aumentam com o uso do gesso (FRIED & PEECH, 1946; QUAGGIO et alii, 1982; CARVALHO et alii, 1986; GUILHERME, 1986; OLIVEIRA et alii, 1986; FARINA & CHANNON, 1988; SILVA, 1990).

O potássio total na parte aérea apresentou efeito interdependente entre a irrigação e as doses de gesso (FIGURA 24). A eficiência de utilização desse nutriente (FIGURA 54) mostrou curva semelhante aquelas de produção de matéria seca (FIGURA 47), enquanto a concentração foliar seguiu tendência inversa (FIGURA 55), evidenciando a ocorrência de diluição na concentração de potássio nos tecidos, em função da quantidade de matéria seca produzida. Não se pode descartar, no entanto, o antagonismo entre o cálcio e o potássio como um fator importante na aquisição de ambos pelas plantas. Porém, nas condições do presente estudo, aparentemente o potássio não limitou o crescimento do *E. grandis*, tendo em vista que os teores foliares foram bem superiores aquele preconizado por SCHONAU (1983), ou seja, 0,7%.

Resta analisar, portanto, os nutrientes Ca, Mg, Mn e Cu. O cobre total na parte aérea aumentou com as doses de gesso, tendendo a estabilização entre 3 e 4 t/ha, ao passo que o manganês aumentou de forma linear (FIGURAS 56 e 57). O cálcio total também aumentou com as doses de gesso, sendo o efeito mais acentuado com o aumento da irrigação (FIGURA 25). Já o magnésio total na parte aérea reduziu linearmente, quando maiores doses de

B (ppm)

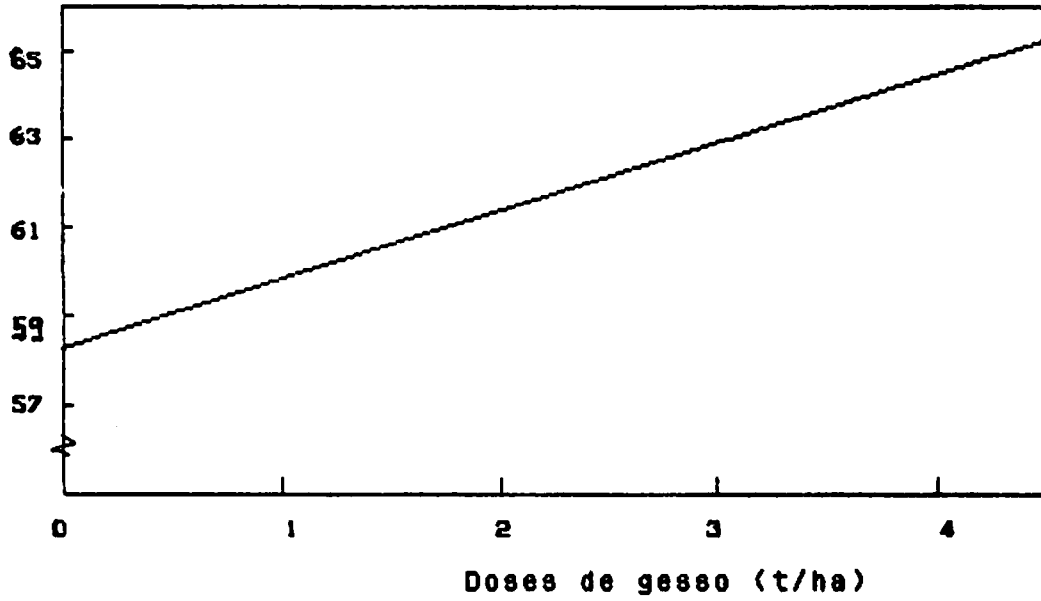


FIGURA 53: Concentração de boro nas folhas em função das doses de gesso.

K (%)

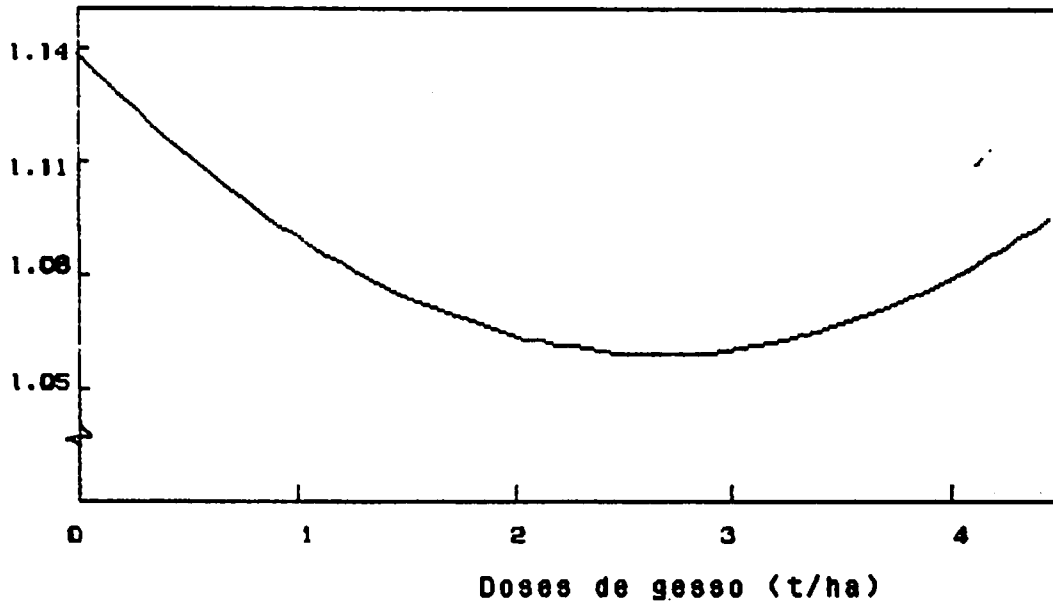


FIGURA 54: Concentração de potássio nas folhas em função das doses de gesso.

Ef.Ut. (g² de mat.seca/mg de K)

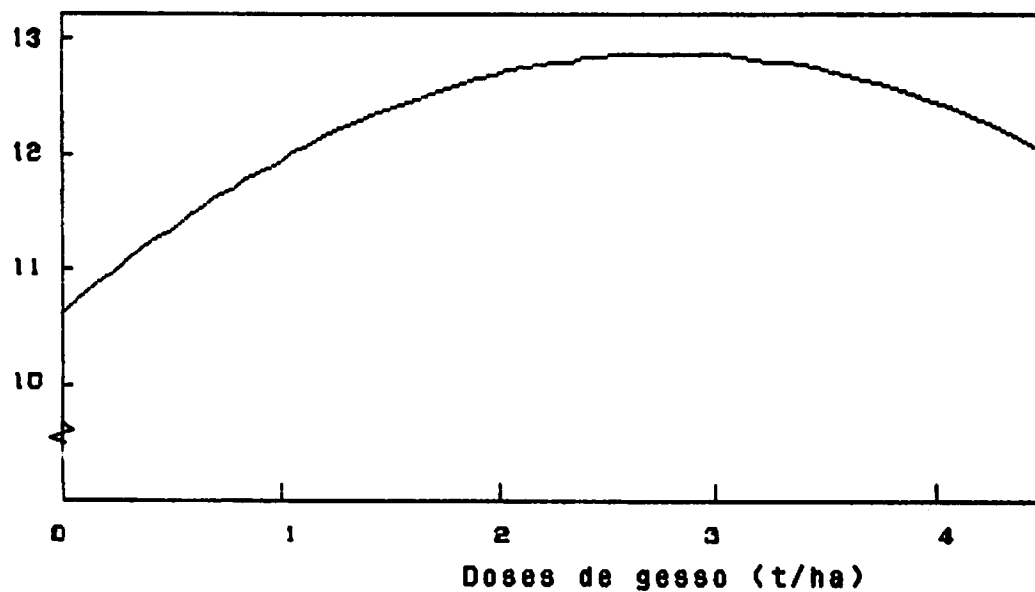


FIGURA 55: Eficiência de utilização do potássio em função das doses de gesso.

Cu total (mg/planta)

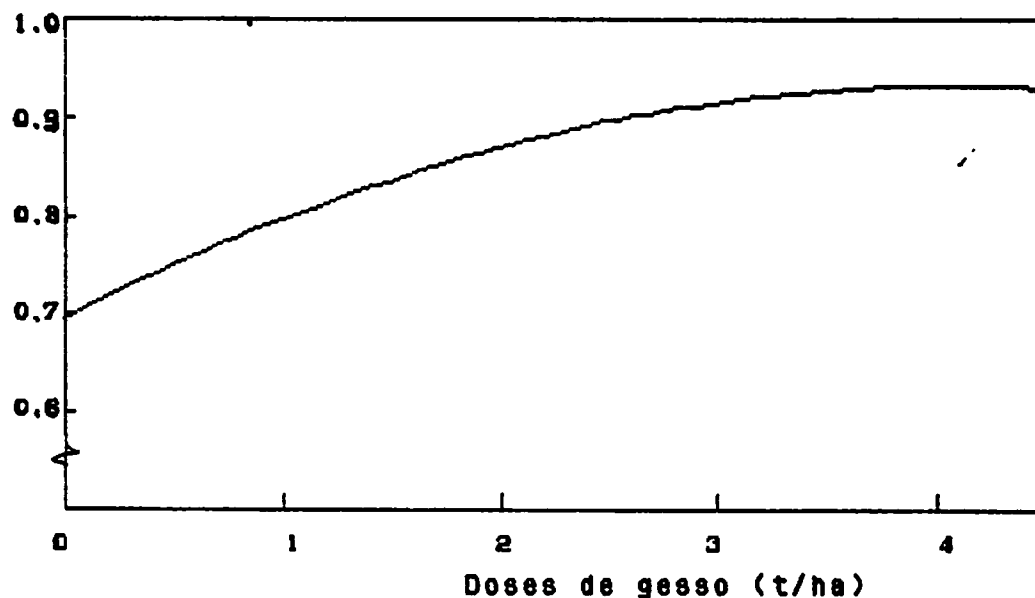


FIGURA 56: Cobre total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.

gesso foram aplicadas (FIGURA 58), contrariando, completamente, a tendência das curvas de produção de matéria seca (FIGURA 47).

A eficiência de utilização do cobre decresceu linearmente (FIGURA 59), ao passo que para o manganês não se observou efeito. A eficiência de utilização do cálcio também diminuiu, tendendo à estabilização entre 3 e 4t de gesso/ha (FIGURA 60), enquanto a do magnésio apresentou comportamento oposto (FIGURA 61), quando do aumento da dose de gesso.

Frente aos resultados apresentados, ressaltam os seguintes fatos: (1) o cálcio, o cobre e o manganês tiveram a sua absorção favorecida pelo gesso; (2) o magnésio teve a sua absorção claramente inibida pelo gesso. Esses fatos refletiram num aumento da concentração foliar de Ca, Mn e Cu, e na redução do teor de magnésio (FIGURAS 46, 62 a 64).

A maior concentração de manganês nos tecidos, quando do uso de gesso no solo, já havia sido observada por CARVALHO et alii (1986), no milho; OLSEN & WATANABE (1979) e NOVAIS et alii (1989), na soja; FRIED & PEECH (1946), no centeio; e SILVA (1990), no algodoeiro. FRIED & PEECH (1946) atribuem o fato ao aumento significativo do manganês na solução do solo, quando da aplicação de gesso. OLSEN & WATANABE (1979) e GUPTA & MEHLA (1980) sugerem que a formação do par-iônico neutro $MnSO_4^0$ na solução do solo, seria responsável pelo incremento na absorção do manganês.

Outro aspecto a ser considerado é o efeito competitivo exercido pelo magnésio na absorção do manganês (MENGEL & KIRKBY, 1987). No presente estudo, observou-se um declínio linear do

Mn total (mg/planta)

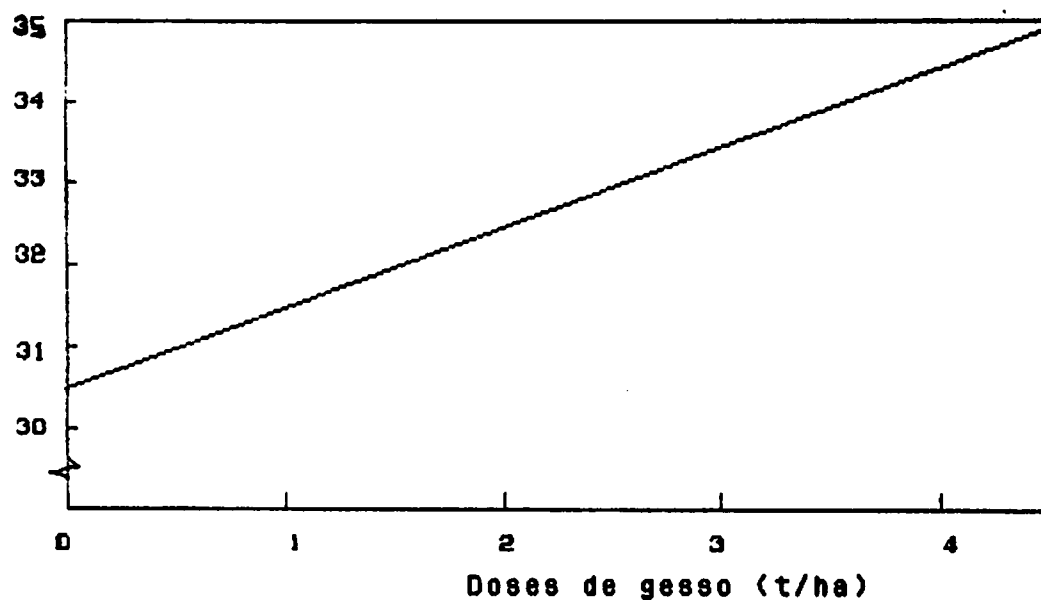


FIGURA 57: Manganês total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.

Mg total (g/planta)

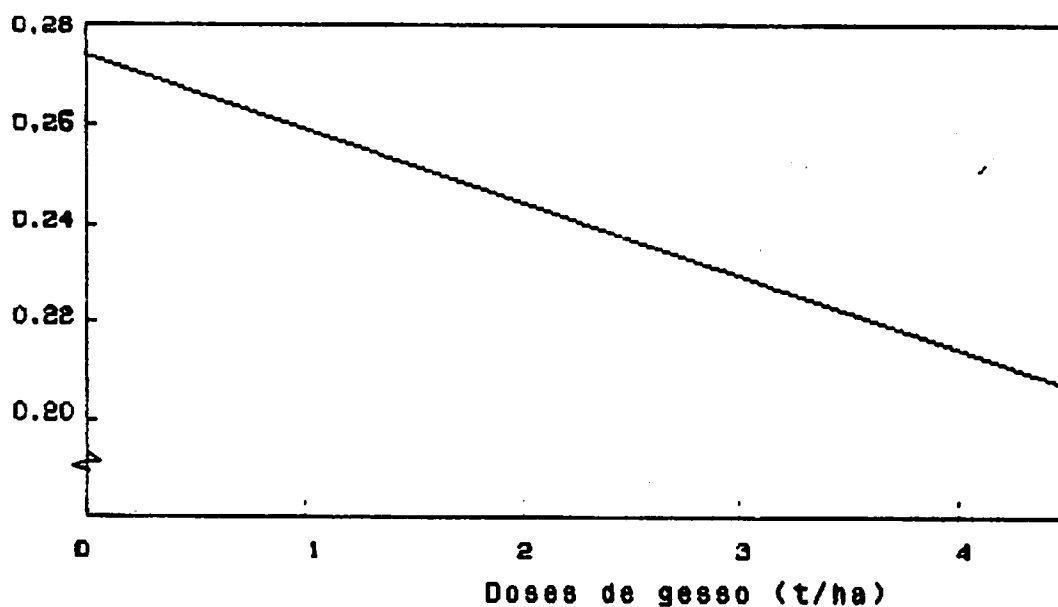


FIGURA 58: Magnésio total acumulado na parte aérea em função das doses de gesso.

Ef.Ut. (g² de mat.seca/mg de Cu).10⁻³

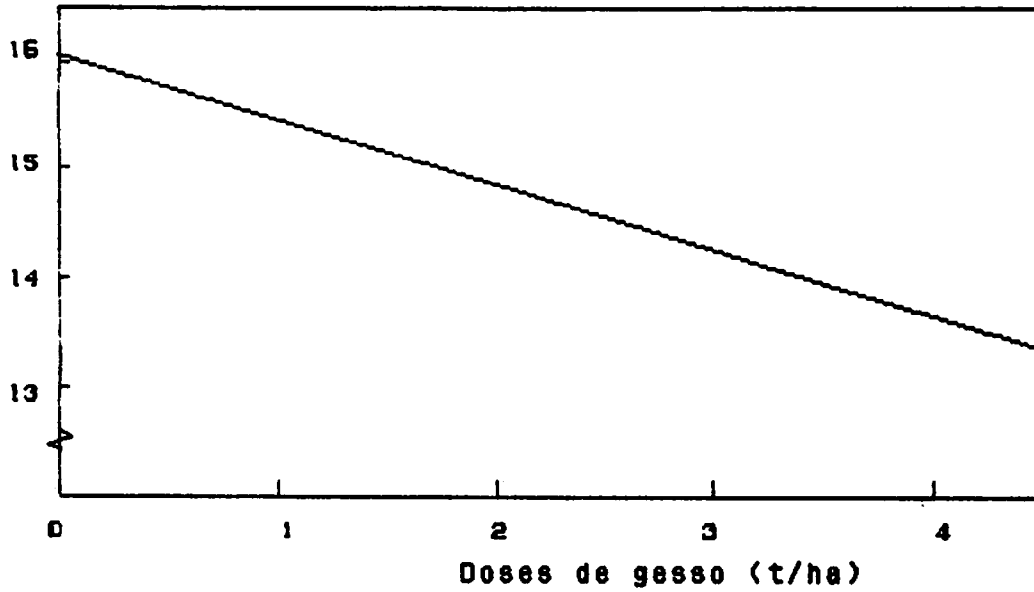


FIGURA 59: Eficiência de utilização do cobre em função das doses de gesso.

Ef.Ut. (g² de mat.seca/mg de Ca)

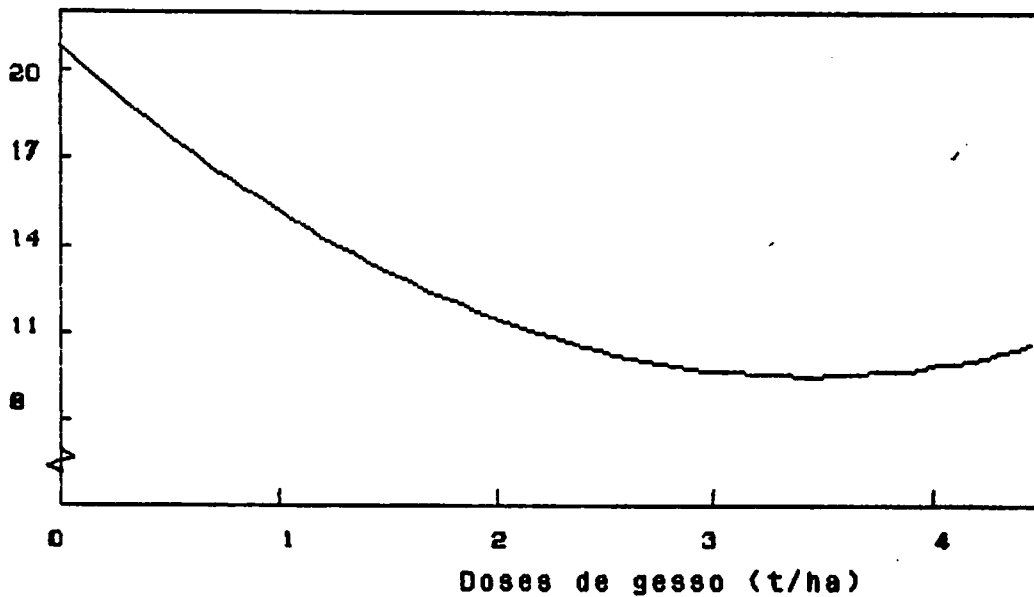


FIGURA 60: Eficiência de Utilização do cálcio em função das doses de gesso.

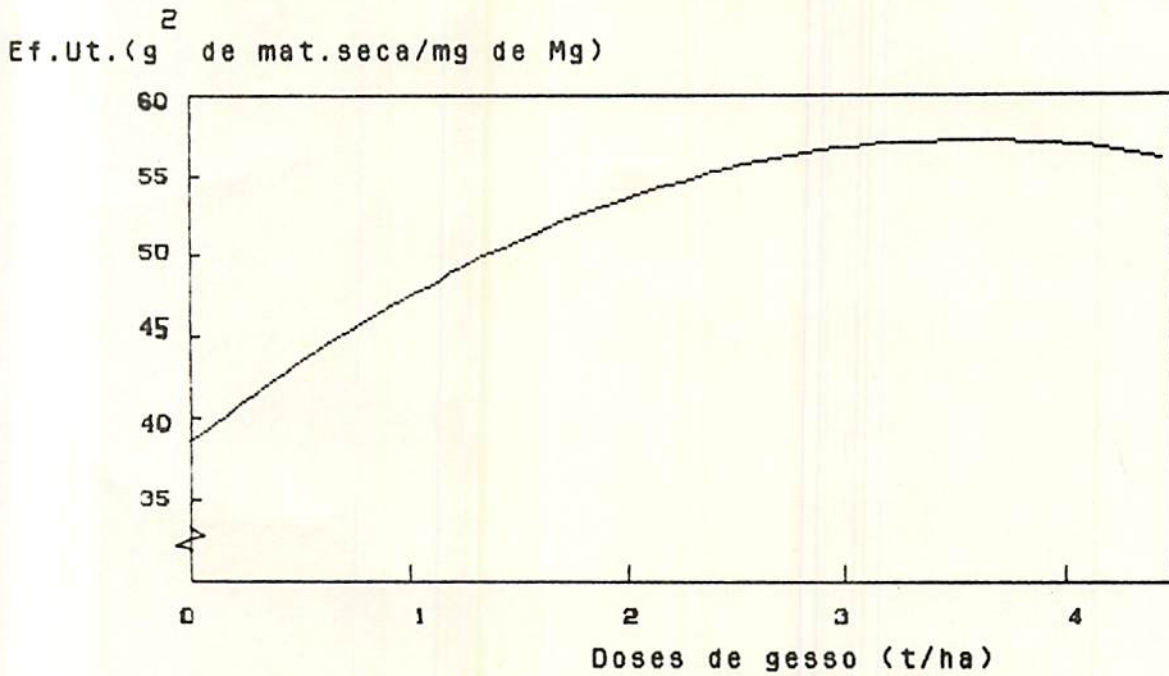


FIGURA 81: Eficiência de utilização do magnésio em função das doses de gesso.

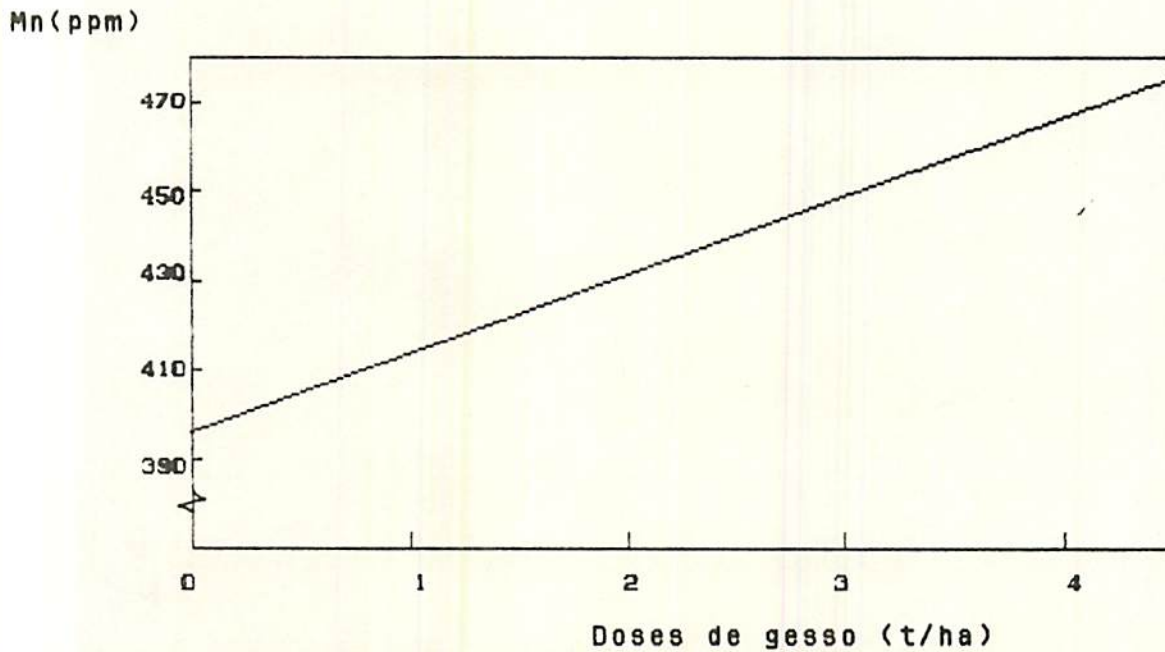


FIGURA 82: Concentração de manganês nas folhas em função das doses de gesso.

Cu (ppm)

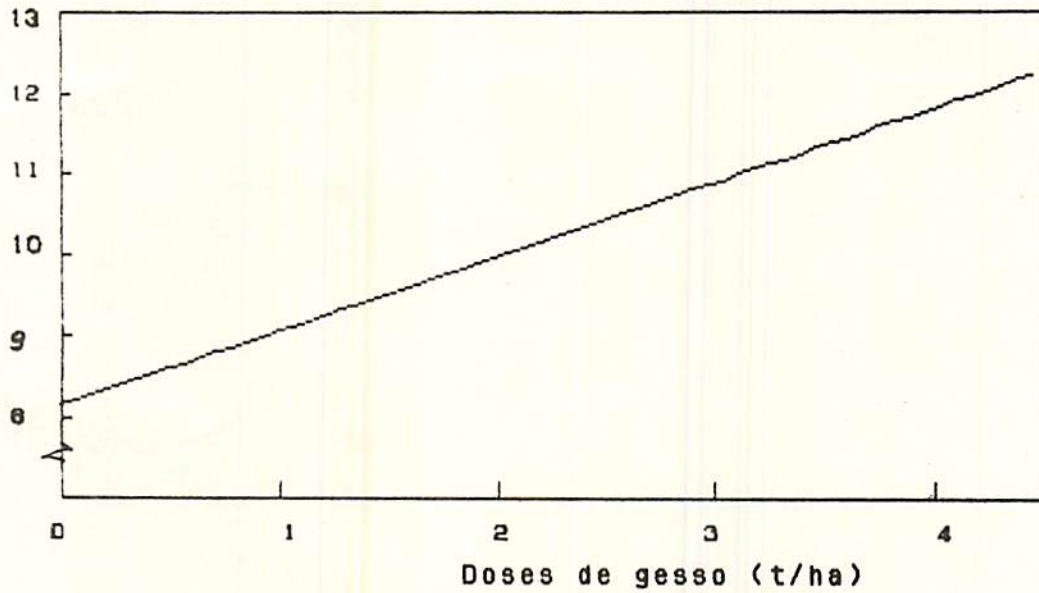


FIGURA 83: Concentração de cobre nas folhas em função das doses de gesso.

Mg (%)

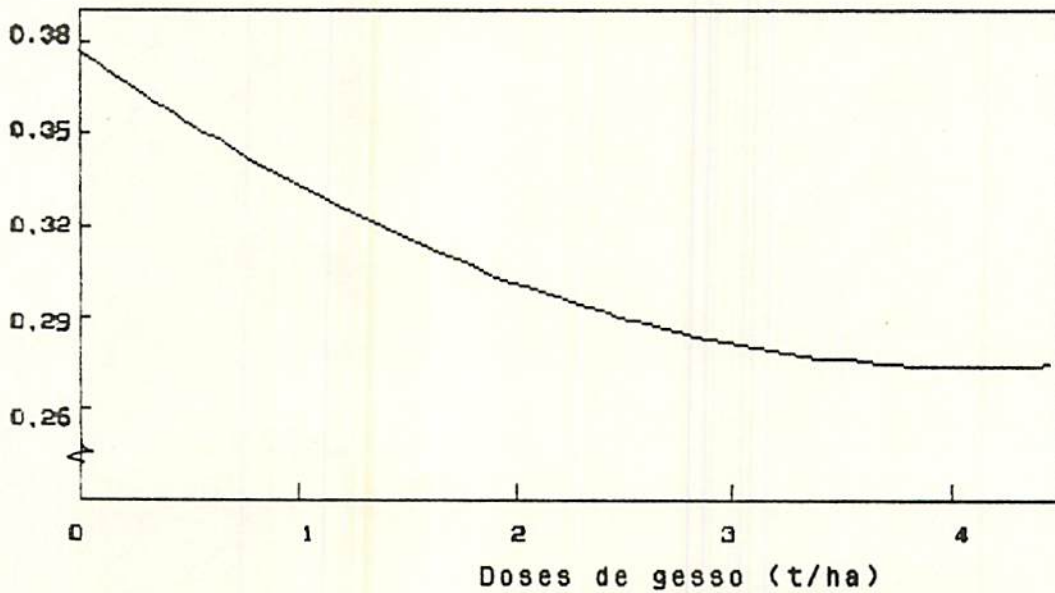


FIGURA 84: Concentração de magnésio nas folhas em função das doses de gesso.

magnésio na parte aérea ao contrário do obtido para o manganês (FIGURAS 57 e 58, 62 e 64).

O aumento da concentração de cobre nas folhas de soja foi detectado por NOVAIS et alii (1989), quando do uso de gesso no solo. OLIVEIRA et alii (1986) também observaram tendência de elevação do cobre foliar no feijoeiro, enquanto FARINA & CHANNON (1988) não notaram alteração em plantas de milho. As possíveis explicações para esse aumento na absorção do cobre, em presença de gesso, provavelmente envolvem a mesma situação do manganês, ou seja, um aumento da concentração do cobre na solução do solo, ou mesmo a formação de par-iônico com o sulfato.

Vale lembrar, no entanto, que o alumínio, mesmo em pequenas concentrações na solução nutritiva, reduz a absorção do cobre, devido a competição entre ambos por sítios de adsorção, a nível de superfície radicular (HIATT et alii, 1963). Todavia, deve-se ressaltar que o gesso, por sua vez, tende a reduzir a atividade do Al^{3+} em solução, pela formação de complexos com o sulfato (PAVAN et alii, 1982, 1984; PAVAN & BINGHAM, 1982; SUMNER et alii, 1986; BRUCE et alii, 1988) e o fluoreto (CAMERON et alii, 1986). Desta forma, o alumínio presente como par-iônico - $AlSO_4^+$; $Al(SO_4)_2^-$; AlF_2^+ ; AlF_3^0 - poderia favorecer a maior absorção do cobre. Por outro lado, um complicador para tal proposição deve-se a observação de que a adição de $10^{-4}M$ de $CaSO_4$ à solução nutritiva, contendo alumínio, reduziu a absorção do cobre (HIATT et alii, 1963).

Considerando-se o teor foliar de cobre ótimo proposto por SCHONAU (1983) para *E. grandis* - $Cu < 18$ ppm - aparentemente pode-se considerar que o seu teor nas plantas foi

Ca/Mg nas folhas

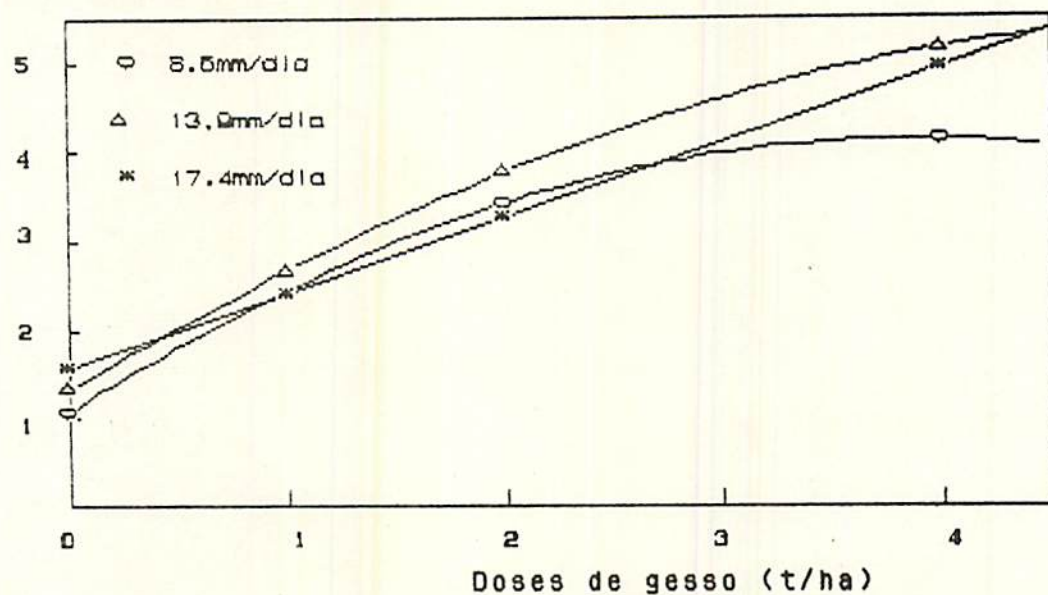


FIGURA 85: Relação Ca/Mg nas folhas em função das doses de gesso e da irrigação.

Ca/K nas folhas

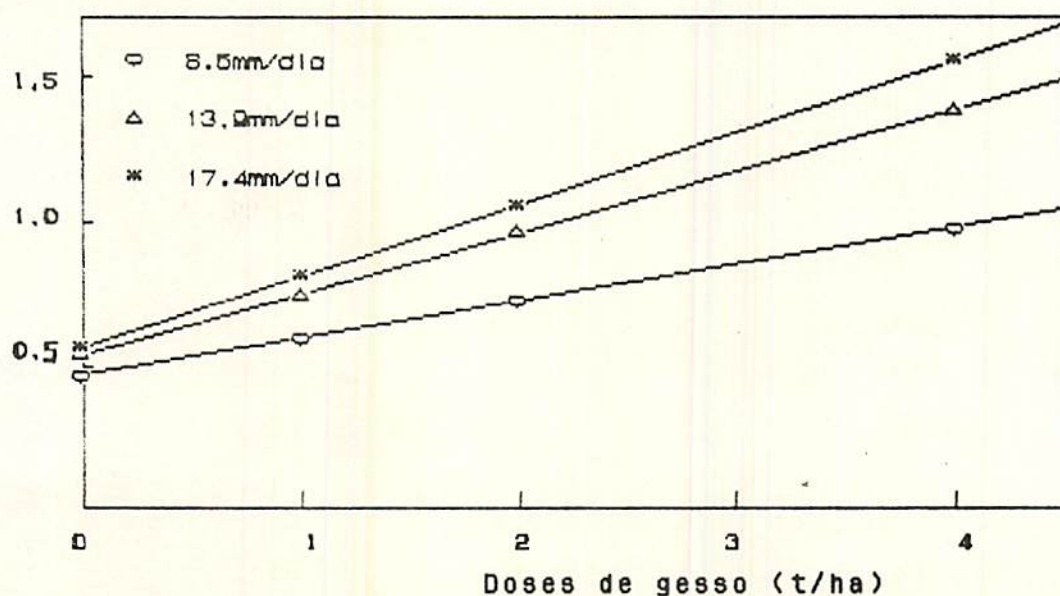


FIGURA 86: Relação Ca/K nas folhas em função das doses de gesso e da irrigação.

ótimo, mas o atingem quando da aplicação de aproximadamente 2,5t de gesso/ha, isto é, no ponto de máxima produção de matéria seca (FIGURA 47); (4) O teor foliar de magnésio inicialmente parece estar acima do ideal, mas decresce com a adição do gesso, atingindo a concentração ideal em torno de 2,5t de gesso/ha (FIGURA 64); (5) A relação Ca/Mg nas folhas inicialmente parece estar abaixo do valor normal, atingindo-o no intervalo de doses estudado.

Todos esses dados relacionados com o cálcio e o magnésio na planta levam a proposição de que o equilíbrio entre esses dois nutrientes, a nível de solo, determinou o comportamento do *E. grandis* em termos de crescimento da parte aérea. Melhor dizendo, a adubação de plantio teria reduzido a relação Ca/Mg no solo, tornando-a inadequada ao crescimento ótimo das plantas. Contudo, a aplicação de gesso reverteu a situação, atingindo-se uma relação Ca/Mg ótima no solo, quando da aplicação de 2,5 t gesso/ha. Acima dessa dose a relação Ca/Mg no solo teria se tornado elevada para o *E. grandis*.

As alterações da relação Ca/Mg aparentemente foram mais importantes para as plantas nas camadas superficiais do solo (0-20 cm), onde se concentrou a maior porção do sistema radicular (FIGURA 17, Quadro 08), conforme proposto por DAL BO et alii (1986 a,b). Pode-se notar nas FIGURAS 7 a 9, teores residuais crescentes de magnésio trocável, evidenciando uma queda na sua taxa de absorção, frente ao aumento da dose de gesso. Essa redução na absorção do magnésio deve-se, provavelmente, ao seu antagonismo com o cálcio, bem como ao aumento de sua lixiviação em profundidade, onde, ao que tudo indica, a absorção seria

limitada, devido a reduzida massa radicular abaixo de 20 cm de profundidade (FIGURA 17 e Quadro 08), conforme proposto por BOWEN (1984), e discutido anteriormente no item 5.2.1.

O desequilíbrio entre as bases, principalmente nas camadas superficiais do solo, devido ao fornecimento de Ca e/ou lixiviação de Mg e K, quando do uso de gesso, é comumente relatado na literatura, assim como os seus efeitos no crescimento e na nutrição mineral das plantas (REEVE & SUMNER, 1972; RITCHEY *et alii*, 1980; QUAGGIO *et alii*, 1982; ROSOLEM & MACHADO, 1984; DAL BO *et alii*, 1986 a,b). É importante salientar que, no presente estudo, a relação Ca/Mg no solo aparentemente foi mais importante para o crescimento da parte aérea do que das raízes, visto que detectou-se efeito sobre o primeiro, mas não sobre o segundo. Essa observação contraria a proposição de DAL BO *et alii* (1986 a,b), que atribuíram a inibição do crescimento da parte aérea e radicular da cana-de-açúcar, a elevação da relação Ca/Mg nas camadas superficiais do solo, quando da aplicação de gesso.

Nas condições do presente estudo, pode-se ressaltar também que as relações foliares Ca/Mg, Ca/K e K/Mg tenderam a crescer com o aumento do gesso aplicado ao solo, sendo o efeito dependente do nível de irrigação (FIGURAS 65 a 67). Pode-se notar também que o aumento da dose de gesso favoreceu a maior absorção do Ca e do K, em relação ao Mg, enquanto o aumento da irrigação foi favorável à maior absorção do Ca e do Mg, em relação ao K. A adição de gesso ao solo, independente do nível de irrigação, reduziu os teores foliares de K e Mg, elevando os de Ca (FIGURAS 46, 54 e 64). A explicação para todos esses fatos possivelmente pode ser atribuída ao efeito antagônico entre esses três

K/Mg nas folhas

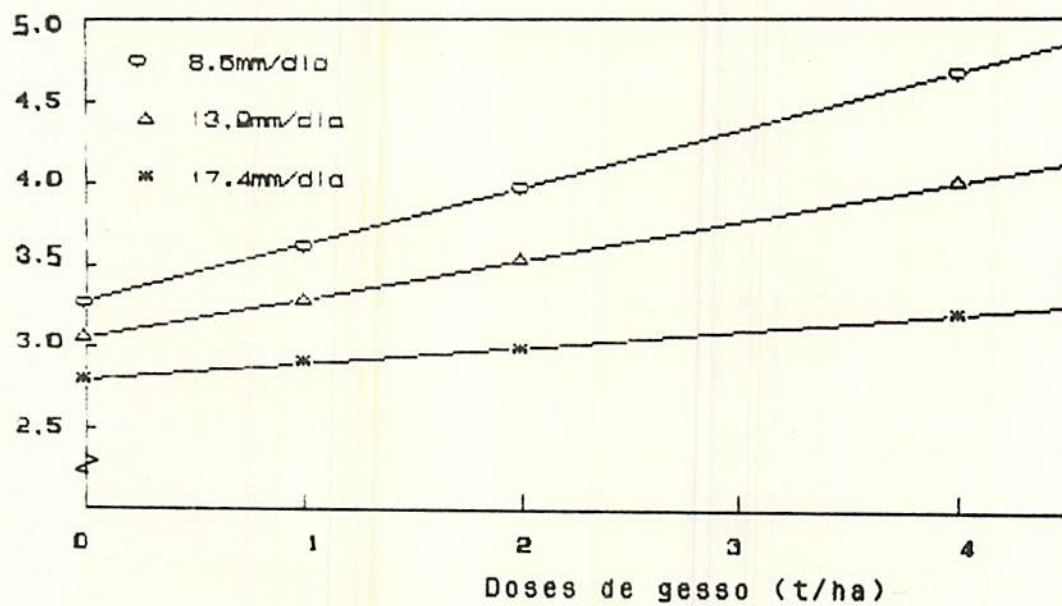


FIGURA 87: Relação K/Mg nas folhas em função das doses de gesso e da irrigação.

nutrientes no processo de absorção pela planta, bem como a lixiviação diferenciada dos mesmos no solo, em função das doses de gesso e dos níveis de irrigação (FIGURAS 4 a 12).

Sugere-se estudos futuros envolvendo a adubação em cobertura com magnésio e/ou potássio, visando minimizar os desequilíbrios em relação ao cálcio, associados ao uso do gesso.

6. CONCLUSÕES

Nas condições do presente estudo, pode-se concluir que:

- a) O cálcio e o magnésio movimentaram-se em profundidade, tendo o sulfato como principal ânion acompanhante, enquanto o potássio lixiviou-se independentemente desse ânion.
- b) A movimentação de cálcio para o subsolo, em função do uso de gesso, não favoreceu o crescimento de raízes naquela porção do solo. Assim, pode-se concluir que o nível crítico de cálcio para o crescimento de raízes de *Eucalyptus grandis* seria inferior a 0,05 meq/ 100 cm³ solo, ou 6% da CTC efetiva.
- c) O gesso determinou alteração na relação Ca/Mg no solo, condicionando o crescimento e os teores desses dois nutrientes na parte aérea do *Eucalyptus grandis*.
- d) O crescimento da parte aérea do *Eucalyptus grandis* aumentou com o uso do gesso, atingindo o máximo na dose de 2,5t gesso/ha.

- e) O gesso pode constituir-se numa fonte de cálcio para o *Eucalyptus grandis*, desde que se observe o equilíbrio entre as bases (Ca, Mg e K) e a lixiviação de Mg^{2+} e K^+ , notadamente da camada de 0 a 20 cm de profundidade.
- f) O gesso favoreceu a absorção de Mn e Cu pelo *Eucalyptus grandis*.
- g) O aumento da irrigação proporcionou um maior crescimento das raízes e da parte aérea do *Eucalyptus grandis*.
- h) O aumento da irrigação reduziu a concentração foliar dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu e Mn, assim como aumentou a eficiência de utilização dos mesmos pelo *Eucalyptus grandis*.

7. RESUMO

Mudas de um clone de *Eucalyptus grandis*, obtidas sob sistema de enraizamento de estacas em tubetes com vermiculita, foram cultivadas em colunas de solo com 20 cm de diâmetro e 60 cm de altura, em casa de vegetação, com o objetivo de estudar o efeito do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) no crescimento e nutrição mineral do *E. grandis*.

O material de solo utilizado foi coletado das camadas de 0-20 e 40-60 cm de profundidade em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso do município de Carbonita - MG. O solo foi disposto de maneira que os 36 cm inferiores das colunas receberam o material originário da camada de 0-40 cm, sobre o qual adicionou-se mais 20 cm de material proveniente da camada de 0-20 cm.

Foram testados 3 níveis de irrigação e 4 doses de gesso, constituindo-se num fatorial 3x4, com 12 tratamentos, dispostos em delineamento de blocos ao acaso, com 4 repetições. Cada parcela constituiu-se por 1 coluna com 1 planta.

Os níveis de irrigação, denominados 1, 2 e 3, foram estabelecidos para atingir-se -0,06 atm de potencial matricial no solo, nas profundidades de 0-20, 0-40 e 0-56 cm, respectivamente.

A água foi repostada sempre que o peso da coluna atingiu o valor correspondente ao potencial matricial de $-1,0$ atm. As doses de gesso foram 0, 1, 2 e 4 t/ha aplicadas no plantio, ao solo da camada de 0 - 10 cm, juntamente com a adubação básica (N = 50 ppm; P = 200 ppm; K = 250 ppm; Mg = 50 ppm; S = 60 ppm e 0,15 g de FTE BR - 9). Foram aplicadas também adubações em cobertura com N e K, a cada 21 dias.

Transcorridos 98 dias, as colunas foram desmontadas, e avaliou-se a produção de matéria seca de raízes e parte aérea, diâmetro do caule e altura da planta, análise química da matéria seca da parte aérea e do solo (5 camadas de 10 cm).

Verificou-se uma movimentação diferenciada de Ca^{2+} e Mg^{2+} em profundidade, tendo o SO_4^{2-} como principal ânion acompanhante, sendo o efeito mais pronunciado com o aumento da dose de gesso e/ou da irrigação. O K^+ lixiviou-se independentemente do SO_4^{2-} , provavelmente devido às adubações parceladas em cobertura.

A altura das plantas e a matéria seca da parte aérea aumentaram com a aplicação de até 2,5 ton/ha, decrescendo, no entanto, quando mais gesso foi adicionado. Esse comportamento pode ser atribuído, basicamente, a elevação na relação Ca/Mg, à nível de solo e de planta. O gesso favoreceu ainda a maior absorção de cobre e de manganês pelas plantas.

A movimentação de Ca^{2+} em profundidade, em função do uso do gesso, não afetou o crescimento de raízes no subsolo, podendo-se inferir, nas condições experimentais, que o nível crítico seria inferior à 0,05 meq de Ca^{2+} /100 cm^3 de solo, ou 6% da CTC efetiva. Aproximadamente 80% da matéria seca radicular

concentrou-se na camada de 0 - 20 cm, o que, provavelmente, impôs restrição à absorção de nutrientes lixiviados para maiores profundidades no solo.

Mediante todos esses fatos, o gesso pode constituir-se numa fonte de cálcio para o *Eucalyptus grandis*, desde que se observe o equilíbrio entre as bases (Ca, Mg e K) e a lixiviação de Mg^{2+} e K^+ , notadamente na camada de 0-20 cm do solo. Sugere-se estudos envolvendo adubação em cobertura com Mg e/ou K visando minimizar os desequilíbrios em relação ao Ca, associados ao uso do gesso.

O aumento da irrigação proporcionou incremento no diâmetro do caule, na altura das plantas, e na matéria seca de raízes e parte aérea; reduziu as concentrações foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu e Mn, aumentando a eficiência de utilização desses nutrientes pelo *Eucalyptus grandis*.

7. SUMMARY

This study was carried out in soil columns to evaluate the effect of gypsum on mineral nutrition and growth of *Eucalyptus grandis* seedlings, in a Dark Red Latosol from Carbonita, Minas Gerais State, submitted to three soil water content. The treatments were disposed in a factorial arrangement of four gypsum rates (0, 1, 2 and 4 ton/ha) and three soil water levels (-0,06 atm in either 0-20cm, 0-40cm or 0-56cm depth), with four replications. Gypsum, N ($50\mu\text{g g}^{-1}$ soil), P ($200\mu\text{g g}^{-1}$ soil), K ($250\mu\text{g g}^{-1}$ soil), Mg ($50\mu\text{g g}^{-1}$ soil), S ($60\mu\text{g g}^{-1}$ soil), and micronutrients were incorporated in the 0-10cm soil layer. Additional nitrogen and potassium was applied during growth period. Water was applied to each column whenever the weight of it reached the value equivalent to -1,0 atm, based on the entire column.

At harvesting, which occurred 98 days after seedlings planting, the soil columns were separated at 10cm intervals. Roots in each 10cm depth increment were removed for weight determination and, thereafter, soil samples were taken for P, K, Ca, Mg, S-SO_4^{2-} and Al^{+3} determination and for pH analysis. From

the aerial part of the plants, it were evaluated dry water production, plant height, stem diameter and it was analyzed for all nutrients.

It was observed high calcium movement downwards with increasing gypsum rates. However, such enrichment of the subsoil with calcium did not promote any beneficial effect upon root growth. Calcium critical level for root growth of this plant species seemed to be lower than $0,05 \text{ meq Ca}^{+2}/100 \text{ cm}^3$ soil. Plant height and dry matter production was increased by gypsum application rate, 2,5 ton/ha. Beyond that gypsum rate, there was a negative effect due to significant increase in Ca/Mg ratio in the plant. By increasing water supply, it was observed positive effect on plant height, stem diameter, dry matter production and on nutrient utilization efficiency by the plants.

B. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADAMS, F. Calcium deficiency as causal agent of ammonium phosphate injury to cotton seedlings. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 30(4):485-8, Jul/Aug. 1966.

----- . Ionic concentrations and activities in soil solutions. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 35(3):420-6, May/Jun. 1971.

----- . Soil solution. In: CARSON, E.W, ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 441-81.

----- & HATHCOCK, R.J. Aluminum toxicity, and calcium deficiency in acid subsoil horizons of two Coastal Plains soil series. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48(6):1305-9, Nov/Dec. 1984.

----- & MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of Coastal Plain Soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 47(1):99-102, Jan/Feb. 1983.

- ADAMS, F. & PEARSON, R.W. Crop response to lime in the southern United States and Puerto Rico In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., eds. *Soil and liming*. Madison, American Society of Agronomy, 1967.p. 161-206.
- & RAWAJFIH, Z. Basalumite and alumite: a possible cause of sulfate retention by acid soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison 41(4):686-92, Jul/Aug. 1977.
- AL-ANI, T.A. & KOONTZ, M. Distribution of calcium observed by all or part of the root system of beans. *Plant Physiology*, Lancaster, 44(4):711-6, Jul. 1969.
- ALCARDE, J.C. Contraditório, confusa e polêmica; é a situação do uso do gesso na agricultura. *Informações Agronômicas-POTAFOS*, Piracicaba, 41:1-3, Mar. 1988.
- ALVA, A.K.; SUMMER, M.E. & MILLER, W.P. Reactions of gypsum or phosphoypsum in highly weathered acid subsoils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 54(4): 993-8, Jul/Aug. 1990.
- BANGERTH, F. Calcium related physiological disorders of plants. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, 17:97-122, 1979.
- BARROS, N.F. de; GOMES, J.M.; NOVAIS, R.F. de & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de cálcio e potássio no solo para o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 18, Salvador 1981. *Resumos*. Salvador, SBCS, 1981. p.93. (Resumo 193).

BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F. de & NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de Eucalipto. In: BARROS, N.F. de & NOVAIS, R.F. de, eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.127-86.

----- ; ----- ; ----- ; & GOMES, J.M. Interpretação de análises químicas do solo para o crescimento de *Eucalyptus* spp. *Revista Arvore*, Viçosa, 6(1):38-44, jan/jun. 1982.

BLACK, A.S. & CAMERON, K.C. Effect of leaching on soil properties and growth following lime and gypsum amendments to a soil with and acid subsoil. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Wellington, 27(2): 195-200. 1984.

BOLAN, N.S.; SCOTTER, D.R.; SYRES, J.K. & TILLMAN, R.W. The effect of adsorption on sulfate leaching. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 50(6): 1419-24, Nov/Dec. 1986.

BOWEN, G.D. Tree roots and the use of soil nutrients. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S., eds. *Nutrition of plantation forests*. London, Academic Press, 1984. p. 147-79.

BRUCE, R.C.L WARRELL, L.A.; EDWARDS, D.G. & BELL, L.C. Effects of aluminium and calcium in the soil solution of acid soils an root elongation of *Glycine max* cv. Forrest. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, 39(3):319-38. 1988.

BURGSTROM, M.G. Calcium and plant growth. *Biological Review*, Cambridge, 43:287-316-1968.

- CAMARGO, O.A. de. *Compactação do solo e desenvolvimento de plantas*. Campinas, Cargill, 1983. 44p.
- & RAIJ, B. Van. Movimento do gesso em amostras de latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 13(3): 275-80, Set/Dez. 1989.
- CAMERON, R.S ; RITCHIE, G.S.P. & ROBSON, A.D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5):1231-6, Sept/Oct. 1986.
- CANAL. I.N. & MIELNICZUK, J. Parâmetros de absorção de potássio em milho (*Zea mays* L.) afetados pela interação alumínio cálcio. *Ciência e Cultura*, São Paulo, 35(3):336-40, Mar. 1983.
- CARVALHO, L.J.C.B.; GOMIDE, R.L.; RODRIGUES, G.C.; SOUZA, D.M.G. de & FREITAS J.R.E. de. Reposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solo de cerrados. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTUA, 1, Brasília, 1985. *Anais...* Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.61-83.
- CLARKSON, D.T. & HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 31:239-98, 1980.
- COCHRANE, T.T. Chemical properties of native savanna and forest soils in Central Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 53(1):139-41, Jan/Feb. 1989.

COSTA, C. A. S. *Mineralização do enxofre orgânico e adsorção de sulfato em solos*. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1980. 65p. (Tese MS).

COUTO, W.; LATHWELL, D.L. & BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two Oxisols and Alfisol of the tropics. *Soil Science*, Baltimore, 127 (2): 108-18, Feb. 1979.

DAL BO, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIEBAUT, J.T.L. & NOVAIS, R.E. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. I. Movimentação de bases no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 10(3):195-8, set/dez. 1986 a.

-----; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIEBAUT, J.T.L. & NOVAIS, R.E. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. II. Resposta da planta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas 10(3):231-4, Set/Dez. 1986 b.


DAVIDE, A.C. *Influência do fosfato de Araxá e do gesso na produção de mudas de Eucalyptus saligna Smith, em casa de vegetação*. Lavras, ESAL, 1983. 91p. (Tese MS).

DIAS, L.E.; CARVALHO, L.J.C.B. & RITCHEY, K.D. Avaliação da deficiência de Ca em diferentes solos de cerrado, por meio do crescimento de raízes. *Revista Ceres*, Viçosa, 32(180):102-9, mar/abr. 1985.

- DIAS, L.E.; FERREIRA, F.A.S.; RIBEIRO, A.C. & COSTA, L.M. Movimentação de cálcio em colunas de solo tratadas com carbonato e sulfato de cálcio. *Revista Ceres*, Viçosa, 31 (178): 407-14, nov/dez. 1984.
- DURING, C. & COOPER, M. Sulphate nutrition and movement in soil with high sulphate sorption characteristics. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, Wellington, 2:45-51. 1974.
- EMANUELSON, J. Root growth and calcium uptake in relation to calcium concentration. *Plant and Soil*, Netherlands, 76(3):325-34. 1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. n.p.
- EPSTEIN, E. *Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas*. São paulo, EDUSP, 1975. 341p.
- ERNANI, P.R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 10(3):241-5, set/dez. 1986.
- FARINA, N.P.W. & CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. I. Gypsum effect on growth and subsoil chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 52(1):175-80, Jan/Feb. 1988.

- FASSBENDER, H.W. *Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina*. San José, IICA, 1986. 398p.
- FERGUSON, I.B. & CLARKSON, D.T. Simultaneous uptake and translocation of magnesium calcium in barley (*Hordeum vulgare* L.) roots. *Planta*, Berlim, 128:267-9. 1976.
- FERREIRA, F.A. Enfermidades do eucalipto. *Informe Agropecuário* Belo Horizonte, 12 (41): 59-70, set. 1986.
- FONTES, L.E.F. Nova proveta para sedimentação da suspensão do solo na determinação da fração argila por densimetria. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6(2):152-4, mai/ago. 1982.
- FOY, C.D. Effects of aluminium on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia. 1974a. p. 601-46.
- . Effects of soil calcium availability on plant growth. In: CARSON, E.W. *The plant root and its environment* Charlottesville, University Press of Virginia, 1974b. p.565-60.
- FRIED, M. & PEECH, M. The comparative effects of lime and gypsum upon plants growth on acid soils. *Journal the of American Society of Agronomy*, Washington, 38(7):614-23, july. 1946.
- GOEDERT, W.J.; RITCHEY, K.D. & SANZONOWICZ, C. Desenvolvimento radicular do capim-andropogon e sua relação com o teor de cálcio no perfil do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 9(1):89-91, jan/abr. 1985.

- HOWARD, D.D. & ADAMS, F. Calcium requirement for penetration of subsoil by primary cotton roots. *Soil Science of America Proceedings*, Madison, 29(5):558-62, Sept/Oct. 1965.
- JACKSON, W.A. & EVANS, H.J. Effect of Ca supply on the development and composition of soybean seedlings *Soil Science*, Baltimore, 94: 180-6. 1963.
- KHANA, P.H. & ULRICH, B. Soil characteristics influencing nutrient supply in forest soils. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E., eds. *Nutrition of plantation forests*, London, Academic Press, 1984. p.79-118.
- KIEL, J.C. & FRANCO, O. Efeito do gesso industrial sobre alguns componentes da fertilidade do solo. *O Solo*, Piracicaba, 76(1):11-6, jan/jun. 1984.
- KOZLOWSKI, T.T. Water supply and tree growth. Part I water deficits. *Forestry Abstracts*, Farnham Royal, 43(2): 57-95, fb. 1982.
- KRAMER, P.J. *Plant & soil water relationships; a modern synthesis*. New York, McGraw-Hill, 1969. 482p.
- LEAF, A.L. Plant analysis as an aid in fertilizing forests. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. eds. *Soil Testing and Plant Analysis*. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p. 427-54.
- LIMA, W. de P. *A água do solo e o crescimento da floresta*. Piracicaba, IPEF, 1979. 8p. (IPEF Circular Técnica, 59).

- LONERAGAN, J.F. & SNOWBALL, K. Calcium requirements of plants
Australian Journal of Agricultural Research, Victoria,
20:465-78. 1969.
- LOPES, A.S. *Solos sob "cerrado"*; características, propriedades e
manejo. 2 ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa
da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- LUND, Z.F. The effect of calcium an its relation to several
cations in soybean on growth. *Soil Science Society of America
Proceedings*, Madison, 34(3):456-60, May/June, 1970.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São
Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- ; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado
nutricional das plantas; princípios e aplicações*. Piracicaba,
Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato,
1989. 201p.
- MARCANO-MARTINEZ, E. & McBRIDE, M. B. Calcium and sulfate
retention by two oxisols of the brasilian cerrado. *Soil
Science Society of America Journal*, Madison, 53(1): 63-9,
Jan/Feb. 1989.
- MEAD, D.J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. 
In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S. eds. *Nutrition of plantation
forests*. London, Academic Press, 1984. p. 259-91.
- MENGEL, E. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4 ed.
Bern, International Patash Institute, 1987. 687 p.

NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F. de. & ANJOS, J.L. dos. Efeito do alumínio em amostras de dois latossolos sob cerrado sobre o crescimento e a absorção de nutrientes em mudas *Eucalyptus* spp. *Revista Arvore*, Viçosa, 6(1):17-28, jan/jun. 1982.

-----; GOMES, J.M. & NOVAIS, R.F. de. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: BARROS, N.F.de. & NOVAIS, R.F.de. eds. *Relação solo-eucalipto*, Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.99-126.

NOBLE, A.D.; SUMNER, M.E. & ALVA, A.K. The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 52:1398-1402, Sept/Oct. 1988.

NOGUEIRA, A.R.A. & MOZETO, A.A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14(1):1-6, jan/abr. 1990.

NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de & NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp.; níveis críticos de implantação e de manutenção. *Revista Arvore*, Viçosa, 10(1):105-11, jan/jun. 1986.

----- ; ----- & ----- . Nutrição do Eucalipto. In: BARROS, N. F. de & NOVAIS, R. F. de, eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.

NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de & NEVES, J.C.L.. Nutrição do eucalipto e fertilização e correção do solo para seu cultivo. In: SIMPOSIO UFV/MAB/IUFRO - FLORESTAS PLANTADAS NOS NEOTROPICOS COMO FONTE ENERGIA, Viçosa, 1983. *Anais...* Viçosa, UFV, 1985. p.133-69.

-----, de; GOMES, J.M.; BORGES, E.E. de L. & ROCHA, D. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden); 2. Efeitos da calagem, do N e do superfosfato simples. *Revista Arvore*, Viçosa, 4(1):1-13, jan/jun. 1980a.

-----, de; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. de & SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 13(2):199-204, mai/ago. 1989.

-----, de; GOMES, J.M.; NASCIMENTO FILHO, M.B. & BORGES, E. E. de L. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, W. Hill ex Maiden). 3. Efeitos da calagem, do superfosfato simples e de um fertilizante NPK. *Revista Arvore*, Viçosa, 4(2):111-22, jul/dez. 1980b.

-----, de; -----; ROCHA, D. & BORGES, E.E. de L. Calagem e adubação mineral na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden); 1. Efeitos da calagem e dos nutrientes N,P,K. *Revista Arvore*, Viçosa, 3(2):121-34, jul/dez. 1979.

- OATES, K.M. & CALDWELL, A.G. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 49(4): 915-8, Jul/Aug. 1985.
- OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J. & REYNIER, F. N. Efeito do fosfogesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de alguns nutrientes. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. *Anais...* Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. P.45-60.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. Interaction of added gypsum in alkaline soils with uptake of iron, molybdenum, manganese and zinc by sorghum. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 43(1):1256-30, Jan/Feb. 1979.
- PAOLINELLI, M.T.; OLIVEIRA, P.M. de; SA SANTOS, P. R. R.; LEANDRO, V. P. & MORAES, W. V. de. *Gesso agrícola. s.l., PETROFÉTIL, s.d. 16p.*
- PAVAN, M.A. Ação dos corretivos e fertilizantes na dinâmica de ions no solo. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO. IAPAR, ANDA, PPI/IPT, Londrina, 1983. p.47-63.
- . Comportamento do gesso nos solos ácidos das regiões tropicais e subtropicais. *Informações Agronômicas - POTAFOS*, Piracicaba, 35:1-2, set. 1986.
- & BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution *Soil Science Society America Journal*, Madison, 46(5):993-7, Sept/Oct. 1982.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum application to a Brazilian oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48(1):33-8, Jan/Fev. 1984.

-----; ----- & ----- . Toxicity of aluminum to coffee (*Coffea arabica* L.) in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 46(6):1201-7, Nov/Dec. 1982.

----- & VOLKWEISS, S.J. Efeito do gesso nas relações solo-planta; princípios. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. *Anais...* Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. P.107-18.

POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems; silvicultural implications. *IPEF*, Piracicaba, 31:33-40, dez. 1985.

PRITCHETT, W.L. *Suelos forestales*, propiedades, conservación y mejoramiento. México, Limusa, 1986. 634p.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. van. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e a lixiviação de bases no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6(3):189-94, set/dez. 1982.

RAIJ, B. van. *Avaliação da fertilidade do solo*. 3 ed. Piracicaba, POTAFOS, 1987. 142p.

RAIJ, B. van. *Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo*. São Paulo, Associação brasileira para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.

----- . Propriedades eletroquímicas de solos. In: DECHEN, A. R. & CARMELLO, G. A. C., coord. *Simposio avançado de química e fertilidade do solo*, Campinas, Cargill, 1986. p. 9-42.

----- & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 36(4):587-93, Jul/Aug. 1972.

REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of sulfate applied amendments. *Agrochimophysics*, Pretoria, 4(1):1-6, Jan/Feb. 1972.

RIOS, M.A. & PEARSON. R.W. The effect of some chemical environmental factors on cotton root behavior. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 28(1):232-5, Jan/Feb. 1964.

RIRIE, D.; TOTH, S.J. & BEAR, F.E. Movement and effect of lime and gypsum in soil. *Soil Science*, Baltimore, 73(1):23-35, Jan/June.. 1952.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. *Soil Science*, Baltimore, 133(40):378-82, Apr. 1982.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D. M. G. Relações entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7(3):269-75, Set/Dez. 1983.

-----; SOUZA, D.M.G. & RODRIGUES, G.C. Testes biológicos para diagnóstico da deficiência de cálcio e toxicidade de alumínio em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12(2):113-20, mai/ago. 1988.

-----; -----; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. *Agronomy Journal*, Madison, 72(1):40-4, Jan/Fev. 1980.

ROSOLEM, C.A. & MACHADO, J.R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8(2):103-9, mai/ago. 1984.

SANSIGOLO, C.A.; SILVA, H.D. da; PEREIRA, R. da S. & ALVES, S. T. Nutrição mineral de *Eucalyptus*. In: HAAG, H. P., coord. *Nutrição mineral de Eucalyptus, Pinus, Araucaria e Gmelina no Brasil*. Campinas, Cargill, 1983. p.1-68.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análise química de plantas*. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.

SCHONAU, A.P.G. Fertilisation in south african forestry. *South African Forestry Journal*, Pretoria, 125(2):1-19, June. 1983.

- SIDDIQI, M.Y. & GLASS A.D.M. Utilization index; a modified approach on the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4(3):289-302, Mar. 1981.
- SILVA, A. de A. *Efeito de relações $\text{CaCO}_3/\text{CaSO}_4$ no movimento de nutrientes no solo e no desenvolvimento do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*)*. Lavras, ESAL, 1990. 80p. (Tese MS).
- SILVA, D.J. *Necessidade de calagem e diferentes relações Ca:Mg para a produção de mudas de eucalipto*. Viçosa, UFV, 1986. 53p. (Tese MS).
- SILVA, V.M.L.; MAGALHAES, J.R. & SILVA, F.L.I.M. Resposta da batata ao cálcio e correção da acidez em Latossolo Vermelho-Amarelo, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 11(1):81-3, jan/abr. 1987.
- SOPRANO, E. & ALVAREZ V.V.H. Nutrientes lixiviados de coluna de solo tratadas com diferentes sais de cálcio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 13(1):25-29, jan/abr. 1989.
- SOUZA, D.M.G. & RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINARIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. *Anais...*Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-44.
- SUMNER, M.E., SHAHANDEH, H.; BOUTON, J. & HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 50(5):1254-58, Sept/Oct. 1986.

- VARGAS, R.M.B.; MEURER, E.J. & ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7(2):143-8, maio/ago. 1983.
- VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- VITTI, G.G.; FERREIRA, M.E. & MALAVOLTA, E. Respostas de culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. *Anais...* Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. P. 17-44.
- WALLACE, A.; FROLICH, E. & LUNT, O.P. Calcium requirement of higher plants. *Nature*, London, 209:634, 1966.

APENDICE

QUADRO 1A. Resumo da análise de variância, considerando regressão para níveis de irrigação e doses de gesso, para a matéria seca da parte aérea.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	SQ			TOTAL
		FOLHAS	GALHOS	TREMCO	
. (Irrigação) (I)	(2)	5158,89	635,84	3443,26	24229,89
RL	1	4989,6588	622,1788	3327,8488	23480,8288
R0	1	168,4488	13,6788	116,2288	749,8788
. (Gesso) (G)	3	189,16	53,88	128,82	883,48
RL	1	17,68	23,2988	52,2988	255,7988
R0	1	69,3388	29,6188	75,5288	518,5988
RC	1	22,23	8,98	8,21	37,89
. I x G	6	23,62	2,52	21,28	98,91
. Blocos	3	13,94	1,39	79,21	184,89
. Erro	33	289,39	87,54	488,64	1699,56
C.V. (Z)		4,82	18,23	18,88	6,54

‡ Significativo ao nível de 5% †† Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 2A. Resumo da análise de variância, considerando regressão para níveis de irrigação e doses de gesso, para a matéria seca de raízes, relação R/P, diâmetro do tronco e altura da planta.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	SQ				
	GL	N.S. TOTAL RAIZES	RELAÇÃO R/P	DIÂMETRO TRONCO	ALTURA PLANTA
. (Irrigação) (I)	2	327,23	0,0072	06,79	16010,04
RL	1	326,18**	-	05,56**	15647,90**
RB	1	1,05	-	1,23	370,06†
. (Gesso) (G)	3	51,50	0,0101	2,57	670,56
RL	1	-	-	-	290,50
RB	1	-	-	-	309,12†
RC	1	-	-	-	22,94
. I x G	6	37,66	0,0027	2,30	390,12
. Blocos	3	36,99	0,0041	1,78	1432,06
. Erro	33	667,62	0,0605	13,04	2733,69
C.V. (I)		23,46	24,10	5,79	5,44

† Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%

QUADRO 3A. Resumo da análise de variância, considerando regressão para níveis de irrigação e doses de gesso, para os teores de N, P, K e Mg.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	SQ			
		N	P	K	Mg
. (irrigação) (I)	(2)	(3,8624)	(0,020511)	(0,7030)	(0,001867)
RL	1	3,689200	0,01949900	0,619900	0,000002
RR	1	0,13720	0,0010120	0,083100	0,0017030
. (Gesso) (G)	(3)	(0,0006)	(0,001187)	(0,0011)	(0,072651)
RL	1	-	-	0,010500	0,06300700
RR	1	-	-	0,010500	0,00361100
RC	1	-	-	0,040100	0,00315300
. I x G	6	0,2146	0,000734	0,0310	0,001700
. Blocos	3	0,1453	0,000404	0,0017	0,0037170
. Erro	33	0,0020	0,005041	0,1197	0,012533
C.V. (Z)		7,61	12,25	5,51	6,06

* Significativo ao nível de 5% ** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 4A. Resumo da análise de variância, considerando regressão para níveis de irrigação e doses de gesso, para os teores de S, B, Zn, Cu e Mn.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	SQ					
	GL	S	B	Zn	Cu	Mn
. (Irrigação) (I)	(2)	(0,009828)	(195,68)	(873,85)	(34,89)	(26253,56)
RL	1	0,009216**	9,14	845,94**	33,18**	8434,71
RQ	1	0,000604	186,54	29,91**	0,99	17818,79**
. (Gesso) (G)	(3)	(0,008285)	(404,24)	(6,88)	(95,38)	(34363,86)
RL	1	-	252,60	-	87,94**	32789,87**
RQ	1	-	62,82	-	0,68	129,92
RC	1	-	89,62	-	6,77**	1523,27
. I x G	6	0,007223*	322,91	19,89	5,38	7242,58
. Blocos	3	0,001294	11,60	27,77*	3,42	2397,23
. Erro	33	0,016484	1284,95	73,26	27,13	69722,53
C.V. (Z)		11,69	9,91	5,37	9,38	18,77

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 5A. Resumo da análise de variância para os teores foliares de Ca e relações Ca/Mg, K/Mg e Ca/K, estudando o efeito do gesso nos diferentes níveis de irrigação, considerando regressão para as doses de gesso.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	SQ			
		Ca	Ca/Mg	K/Mg	Ca/K
. (Irrigação) (1)	(2)	0,02542††	1,7056††	6,6250††	0,0006††
(Gesso: I ₁)	(3)	(1,1833)	(21,0902)	(4,2701)	(0,7642)
RL	1	0,0016††	10,9109††	4,2334†	0,5792†
R0	1	0,2735††	2,0087††	0,0220	0,1045
RC	1	0,0202†	0,0026	0,0147	0,0005
. (Gesso: I ₂)	(3)	(1,9834)	(31,01107)	(2,0373)	(1,6913)
RL	1	1,0769††	30,0084††	2,0136†	1,5794†
R0	1	0,1036††	0,0395††	0,0173	0,1013
RC	1	0,0029	0,0300	0,0004	0,0106
. (Gesso: I ₃)	(3)	(1,3723)	(25,0044)	(0,3676)	(2,1535)
RL	1	1,3455††	24,7422††	0,3575†	2,1144†
R0	1	0,0140	0,1398	0,0097	0,0220
RC	1	0,0120	0,1224	0,0004	0,0171
. Blocos	3	0,0369	0,4490††	0,3766†	0,0236
. Erro	33	0,1950	1,1312	1,3726	0,2360
C.V. (Z)		0,38	6,63	5,92	9,82

† Significativo ao nível de 5%

†† Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 6A. Resumo da análise de variância para os totais acumulados na parte aérea de N, K, e Ca, estudando o efeito do gesso nas diferentes níveis de irrigação, considerando regressão para as doses de gesso.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	SQ		
		N	K	Ca
. (Irrigação) (I) (2)		203819,31**	385780,94**	594020,87**
. (Gesso: I ₁) (3)		(75972,84)	(25566,46)	(722153,22)
RL	1	7468,08	2039,58	552577,31**
RQ	1	51159,64**	19879,54**	169326,91**
RC	1	17345,12	17345,12	249,00
RL	1	6603,12	76,65	1379476,00**
RQ	1	85801,12**	6820,64*	168300,50**
RC	1	16756,50	2736,62	1906,94
. (Gesso: I ₃) (3)		(87734,42)	(17969,33)	(1749799,24)
RL	1	2458,10	17019,73**	1663558,00**
RQ	1	58383,67**	258,94	69881,04**
RC	1	26882,65*	690,66	16360,20
. Blocos	3	22869,69	1465,18	12276,39
. Erro	33	155312,65	68286,55	200576,59
C.V. (%)		4,37	4,41	8,37

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 7A. Resumo da análise de variância, considerando regressão para níveis de irrigação e doses de gesso, para os totais acumulados na parte aérea de P, Mg, B, Zn, Cu e Mn.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	SQ					
		P	Mg	B	Zn	Cu	Mn
. (Irrigação) (I)	(2)	(456,94)	(77194,53)	(26,7388)	(8,3158)	(8,2257)	(912,26)
RL	1	8,45	77123,68**	26,7387**	8,3137**	8,2288**	896,41**
RQ	1	456,494	78,85	8,8881	8,8813	8,8849	15,85
. (Gesso) (G)	(3)	(1627,86)	(27239,24)	(3,2197)	(8,2142)	(8,3825)	(118,43)
RL	1	934,57**	26776,11**	1,5585**	8,8232	8,3446**	108,73**
RQ	1	497,84**	192,22	1,6548**	8,1894**	8,8387**	17,38
RC	1	195,45	278,91	8,0864	8,8816	8,8872	8,48
. I x G	6	338,58	293,96	8,8596	8,634	8,8182	38,48
. Blocos	3	144,54	1148,56	8,1313	8,1376	8,8839	4,87
. Erro	33	2385,22	5581,19	4,3692	8,7978	8,1159	161,51
C.V. (Z)		9,46	5,22	7,91	6,31	7,28	6,87

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 6A. Resumo da análise de variância, considerando regressão para níveis de irrigação e doses de gesso, para a eficiência de utilização do N, P, K, Ca e Mg.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	S0				
		N	P	K	Ca	Mg
. (Irrigação) (1)	(2)	(411,26)	(183339,15)	(781,62)	(472,69)	(7266,64)
RL	1	382,66**	163685,88**	784,11**	418,41**	6697,87**
RR	1	28,60**	19734,15**	77,51**	62,28**	569,57**
. (Gesso) (6)	(3)	(6,85)	(28752,98)	(35,83)	(854,94)	(2424,61)
RL	1	-	-	18,21*	787,62**	2849,42**
RR	1	-	-	12,71*	138,56**	321,48**
RC	1	-	-	4,91	8,76	53,79
. I x G	6	9,39	4386,89	11,78	37,24	97,69
. Blocos	3	2,57	2158,77	3,91	28,88	81,48
. Erro	33	46,94	36172,56	87,62	14,55	1129,74
C.V. (Z)	15,85	22,88	13,67	14,67	11,98	

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 9A. Resumo da análise de variância, considerando regressão para níveis de irrigação e doses de gesso, para a eficiência de utilização do S, B, Zn, Cu e Mn.

CAUSAS DE VARIACÃO	SQ					
	GL	S	B	Zn	Cu	Mn
. (Irrigação) (1)	(2)	(28961,67)	(21,19)	(168,77)	(1191,34)	(0,5694)
RL	1	28952,67**	19,54**	158,22**	1095,48**	0,5112**
RD	1	989,68	1,65**	10,55**	95,86**	0,0502**
. (Gesso) (6)	(3)	(581,89)	(0,25)	(2,91)	(54,54)	(0,0129)
RL	1	-	-	1,42	37,26**	-
RD	1	-	-	1,34**	6,89	-
RC	1	-	-	0,15	10,39	-
. I x G	6	2235,19	0,71	0,82	16,91	0,0128
. Blocos	3	1179,81	0,31	0,37	11,25	0,0031
. Erro	33	12832,92	4,65	0,66	123,09	0,1400
C.V. (Z)		24,41	14,22	10,16	12,87	17,16

* Significativo ao nível de 5%.

** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 10A. Resumo de análise de variância para o crescimento radicular em diferentes profundidades, estudando o efeito da profundidade nos três níveis de irrigação.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	SG	QM
. Irrigação (I)	2	64,3935	32,1967**
. Gesso (G)	3	10,3004	3,4335
. I x G	6	8,3379	1,3896
. Blocos	3	7,3469	2,4490
. Erro	33	133,0619	4,0322
Parcelas	47	223,4406	-
Profund.: I ₁	4	1013,1368	253,2842**
Profund.: I ₂	4	1084,3326	271,0832**
Profund.: I ₃	4	1464,6056	366,1514**
. Gesso x Profund.	12	16,0657	1,3388
. Irrig x Gesso x Profund.	24	21,0036	0,8751
. Erro b	144	203,7619	1,4150
Total	239	4026,3470	-

C.V. (1) = 52,33%

C.V. (2) = 31,00%

* Significativo ao nível de 5%

** Significativo ao nível de 1%.

QUADRO 11A. Efeito dos níveis de irrigação e da doses de gesso no Alumínio trocável no solo, em diferentes profundidades (médias de 4 repetições).

IRRIGAÇÃO (mm/dia)	PROFUNDIDADE (cm)	DOSES DE GESSO (ton/ha)			
		0	1	2	4
		----- (meq/100 cc) -----			
8,5	0-10	1,4	1,4	1,5	1,3
	10-20	1,3	1,2	1,2	1,2
	20-30	0,6	0,6	0,6	0,6
	30-40	0,6	0,6	0,6	0,6
	40-50	0,6	0,6	0,6	0,6
13,9	0-10	1,4	1,4	1,5	1,4
	10-20	1,4	1,4	1,5	1,4
	20-30	0,6	0,6	0,6	0,6
	30-40	0,6	0,6	0,6	0,6
	40-50	0,6	0,6	0,6	0,6
17,4	0-10	1,4	1,4	1,4	1,5
	10-20	1,4	1,5	1,5	1,5
	20-30	0,7	0,7	0,7	0,7
	30-40	0,6	0,6	0,6	0,6
	40-50	0,7	0,7	0,6	0,6

QUADRO 12A. Efeito dos níveis de irrigação e de gesso no pH (KCl 1N) do solo, em diferentes profundidades (médias de 4 repetições).

IRRIGAÇÃO (mm/dia)	PROFUNDIDADE (cm)	DOSES DE GESSO (ton/ha)			
		0	1	2	4
----- (meq/100 cc) -----					
8,5	0-10	3,8	3,8	3,8	3,8
	10-20	3,9	3,8	3,9	3,8
	20-30	4,1	4,1	4,1	4,1
	30-40	4,1	4,1	4,1	4,1
	40-50	4,1	4,1	4,1	4,1
13,9	0-10	3,8	3,8	3,8	3,8
	10-20	3,8	3,9	3,8	3,8
	20-30	4,1	4,1	4,1	4,1
	30-40	4,2	4,1	4,1	4,1
	40-50	4,1	4,1	4,1	4,1
17,4	0-10	3,8	3,8	3,8	3,8
	10-20	3,8	3,9	3,8	3,8
	20-30	4,1	4,0	4,1	4,0
	30-40	4,1	4,1	4,1	4,1
	40-50	4,1	4,1	4,1	4,1

QUADRO 13A. Efeito dos níveis de irrigação sobre a relação de matéria seca raiz/parte aérea (R/P) e a concentração de boro nas folhas do *E. grandis*. (médias de 16 parcelas).

PARAMETRO	NIVEIS DE IRRIGAÇÃO (mm/dia)		
	8,5	13,9	17,4
Relação R/P	0,19	0,18	0,16
Boro nas folhas (ppm)	59	64	60

QUADRO 14A. Efeito das doses de gesso sobre alguns parâmetros de crescimento e nutrição mineral do *E. grandis* (médias de 12 parcelas).

PARAMETROS	DOSES DE GESSO (ton/ha)			
	0	1	2	4
N Foliar (%)	2,11	2,16	2,21	2,11
P Foliar (%)	0,11	0,10	0,11	0,11
S Foliar (%)	0,19	0,19	0,19	0,19
Zn Foliar (ppm)	27	27	28	28
Diâmetro Tronco (mm)	10,5	11,0	11,0	10,9
M.S. total raízes (g/planta)	19,99	19,99	17,45	19,27
Relação R/P	0,20	0,18	0,16	0,17
S Total na p.a.(Irrig.2)(mg/planta)	138	147	153	148

QUADRO 15A - Equações de regressão ajustadas para a produção de matéria seca da parte aérea e radicular (gramas), diâmetro do caule (mm) e altura das plantas (cm) de *E. grandis* e teores de fósforo (ppm) na camada de 0-10cm no solo, em função da irrigação (8,5 a 17,4mm/dia) ou da dose de gesso (0 a 4t/ha).

Variável dependente	Equação	R ² (%)
M.S. folhas	- irrig. $\hat{Y} = 55,6039 - 2,5084x + 0,2067x^2$	100
	- gesso $\hat{Y} = 59,4143 + 3,218x - 0,6779x^2$	79,63
M.S. galhos	- irrig. $\hat{Y} = 11,9502 - 0,5618x - 0,0603x^2$	100
	- gesso $\hat{Y} = 14,2184 + 2,3065x - 0,4431x^2$	98,31
M.S. tronco	- irrig. $\hat{Y} = 28,5278 - 2,2311x + 0,1760x^2$	100
	- gesso $\hat{Y} = 29,6087 + 3,6370x - 0,7075x^2$	99,83
M.S. total parte aérea	- irrig. $\hat{Y} = 96,6592 - 5,4023x - 0,4470x^2$	100
	- gesso $\hat{Y} = 103,2387 + 9,1825x - 1,8397x^2$	95,38
M.S. raízes	- irrig. $\hat{Y} = 9,7224 + 0,7121x$	99,68
Diâmetro caule	- irrig. $\hat{Y} = 6,0242 + 0,3646x$	98,58
Altura parte aérea	- irrig. $\hat{Y} = 54,6191 + 12,9712x - 0,314x^2$	100
	- gesso $\hat{Y} = 161,2712 + 8,22227x - 1,606x^2$	96,58
P no solo	- irrig. $\hat{Y} = 17,7919 - 0,2026x$	90,53
	- gesso $\hat{Y} = 13,7333 + 0,7833x$	96,79

QUADRO 16A - Equações de regressão ajustadas para os totais de macronutrientes acumulados na parte aérea (gramas) de *E. grandis*, em função da irrigação (0,5 a 17,4mm/dia) e/ou da dose de gesso (0 a 4t/ha).

Variável dependente	Equação	R ² (%)
- irrig. 1	$\hat{Y} = 1,39 + 0,1467x - 0,0319x^2$	77,17
N - irrig. 2	$\hat{Y} = 1,49 + 0,01848x - 0,0413x^2$	84,65
- irrig. 3	$\hat{Y} = 1,602 - 0,1225x + 0,1711x^2 - 0,0358x^3$	100
P - irrig.	$\hat{Y} = 0,0356 + 0,0089x - 0,0003x^2$	100
- gesso	$\hat{Y} = 0,00795 + 0,010x - 0,0018x^2$	87,99
- irrig. 1	$\hat{Y} = 0,8528 + 0,09x - 0,0198x^2$	85,73
K - irrig. 2	$\hat{Y} = 1,060 + 0,0467x - 0,0116x^2$	71,59
- irrig. 3	$\hat{Y} = 1,147 - 0,022x$	94,71
- irrig. 1	$\hat{Y} = 0,3492 + 0,366x - 0,058x^2$	99,96
Ca - irrig. 2	$\hat{Y} = 0,524 + 0,4382x - 0,00578x^2$	99,88
- irrig. 3	$\hat{Y} = 0,664 + 0,3724x - 0,0373x^2$	99,06
Mg - irrig.	$\hat{Y} = 0,104 + 0,0109x$	99,91
- gesso	$\hat{Y} = 0,2772 - 0,0159x$	98,30
- irrig. 1	$\hat{Y} = 0,1143 + 0,0049x$	77,61
S - irrig. 3	$\hat{Y} = 0,1514 + 0,0255x - 0,0054x^2$	98,57

QUADRO 17A - Equações de regressão ajustadas para as concentrações de macronutrientes nas folhas (% de *E. grandis* em função da irrigação (8,5 a 17,4mm/dia) e/ou da dose de gesso (0 a 4t/ha).

Variável dependente	Equação	R ² (%)	
N - irrig.	$\hat{Y} = 2,2453 + 0,00791x - 0,006x^2$	100	
P - irrig	$\hat{Y} = 0,1036 + 0,0078x - 0,0005x^2$	100	
K	- irrig	$\hat{Y} = 0,7978 + 0,0894x - 0,0047x^2$	100
	- gesso	$\hat{Y} = 1,1385 - 0,0591x + 0,0111x^2$	45,61
- irrig. 1	$\hat{Y} = 0,4085 + 0,4642x - 0,0737x^2$	97,62	
Ca	- irrig. 2	$\hat{Y} = 0,5152 + 0,4196x - 0,0454x^2$	99,85
	- irrig. 3	$\hat{Y} = 0,565 + 0,1961x$	98,04
Mg	- irrig.	$\hat{Y} = 0,2227 + 0,0173x - 0,0007x^2$	100
	- gesso	$\hat{Y} = 0,377 - 0,0499x + 0,0061x^2$	95,66
S	- irrig.	$\hat{Y} = 0,2409 - 0,0038x$	93,84
	- irrig. 1	$\hat{Y} = 1,0639 + 1,5795x - 0,2038x^2$	99,51
Ca/Mg-	irrig. 2	$\hat{Y} = 1,3251 + 1,4747x - 0,1292x^2$	99,90
	- irrig. 3	$\hat{Y} = 1,568 + 0,8408x$	98,95
- irrig. 1	$\hat{Y} = 3,2745 + 0,3478x$	75,80	
K/Mg	- irrig. 2	$\hat{Y} = 3,0515 + 0,2398x$	93,38
	- irrig. 3	$\hat{Y} = 2,7975 + 0,1011x$	98,19
- irrig. 1	$\hat{Y} = 0,4605 + 0,1286x$	99,14	
Ca/K	- irrig. 2	$\hat{Y} = 0,532 + 0,2124x$	98,73
	- irrig. 3	$\hat{Y} = 0,563 + 0,2458x$	97,27

QUADRO 18A - Equações de regressão ajustadas para os totais de micronutrientes acumulados na parte aérea (miligramas) de *E. grandis* em função da irrigação (8,5 a 17,4mm/dia) e/ou da dose de gesso (0 a 4t/ha).

Variável dependente	Equação	R ² (%)
B	- irrig. $\hat{Y} = 1,8979 + 0,2038x$	99,99
	- gesso $\hat{Y} = 4,18 + 0,5557x - 0,1047x^2$	99,80
Zn	- irrig. $\hat{Y} = 2,1689 + 0,0221x$	100
	- gesso $\hat{Y} = 2,3649 + 0,1617x - 0,0354x^2$	99,26
Cu	- irrig. $\hat{Y} = 0,5773 + 0,0185x$	97,83
	- gesso $\hat{Y} = 0,6943 + 0,1164x - 0,0143x^2$	98,10
Mn	- irrig. $\hat{Y} = 16,5522 + 1,1804x$	98,26
	- gesso $\hat{Y} = 30,4987 + 0,9794x$	85,05

QUADRO 19A - Equações de regressão ajustadas para as concentrações de micronutrientes nas folhas (ppm) de *E. grandis*, em função da irrigação (8,5 a 17,5mm/dia) ou da dose de gesso (0 a 4t/ha).

Variável dependente	Equação	R ² (%)
B	- irrig. $\hat{Y} = 25,8969 + 5,8269x - 0,2229x^2$	100
	- gesso $\hat{Y} = 58,2606 + 1,551x$	62,49
Zn	- irrig. $\hat{Y} = 29,9934 + 1,0601x - 0,0862x^2$	100
Cu	- irrig. $\hat{Y} = 12,7592 - 0,2268x$	97,09
	- gesso $\hat{Y} = 8,1485 + 0,9151x$	92,19
Mn	- irrig. $\hat{Y} = 147,59 + 52,1638x - 0,0218x^2$	100
	- gesso $\hat{Y} = 396,05 + 17,65x$	95,19

QUADRO 20A - Equações de regressão ajustadas para a eficiência de utilização dos nutrientes* pelo *E. grandis*, em função da irrigação (8,5 a 17,4mm/dia) ou da dose de gesso (0 a 4t/ha).

Variável dependente	Equação	R ² (%)	
N - irrig.	$\hat{Y} = 10,8107 - 1,4638x + 0,0873x^2$	100	
P - irrig.	$\hat{Y} = 287,1383 - 42,7591x + 2,293x^2$	100	
K	- irrig.	$\hat{Y} = 19,6319 - 2,633x + 0,1437x^2$	100
	- gesso	$\hat{Y} = 10,6096 + 1,6192x - 0,2903x^2$	86,29
Ca	- irrig.	$\hat{Y} = 23,0746 - 2,4992x - 0,1288x^2$	100
	- gesso	$\hat{Y} = 20,7764 - 6,5664x + 0,9584x^2$	98,57
Mg	- irrig.	$\hat{Y} = 64,8825 - 6,7469x + 0,3895x^2$	100
	- gesso	$\hat{Y} = 38,5064 + 10,4649x - 1,4596x^2$	97,78
S - irrig.	$\hat{Y} = 6,7152 + 5,5831x$	95,66	
B - irrig.	$\hat{Y} = 3,4771 - 0,3624x + 0,0209x^2$	100	
Zn	- irrig.	$\hat{Y} = 6,4288 - 0,8615x + 0,053x^2$	100
	- gesso	$\hat{Y} = 4,649 + 0,5082 - 0,0945x^2$	94,74
Cu	- irrig.	$\hat{Y} = 21,7078 - 2,7867x + 0,1598x^2$	100
	- gesso.	$\hat{Y} = 16,0502 - 0,5957x$	68,32
Mn - irrig.	$\hat{Y} = 0,5972 - 0,0726x + 0,0039x^2$	100	

* (g² de matéria seca/mg de N, P, K, Ca, Mg e S, ou μ g de B, Zn, Cu e Mn).