

HUGO ADELANDE DE MESQUITA

EFEITO DO GESSO E DO CALCÁRIO EM SOLO ALUVIAL
CULTIVADO COM ARROZ (*Oryza sativa* L.)

fern
21x
T
633.188921
MES
efe

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia para obtenção do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS — MINAS GERAIS

1993

HUGO ADELANDE DE MESQUITA

EFETO DO GESSO E DO CALCÁRIO EM SOLO ALUVIAL
CULTIVADO COM ARROZ (*Oryza sativa* L.)

Disciplina apresentada à Escola Superior de Agricul-
tura de Lavras, como parte das exigências do curso
de licenciatura em Agronomia/Horticultura para
obtenção do grau de "MESTRE".

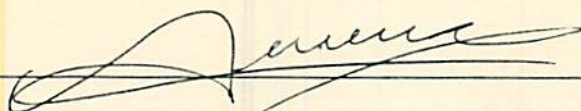
LAZARUS

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS — MINAS GERAIS

1997

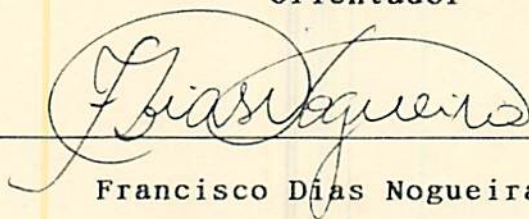
EFEITO DO GESSO E DO CALCÁRIO EM SOLO ALUVIAL CULTIVADO
COM ARROZ (*Oryza sativa* L.)

APROVADA:

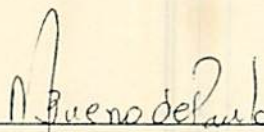


Augusto Ferreira de Souza

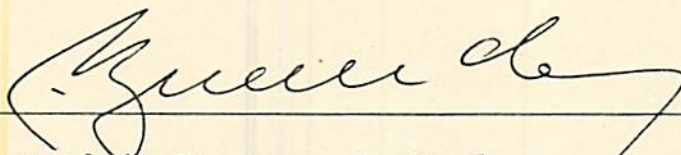
Orientador



Francisco Dias Nogueira



Miralda Bueno de Paula



Antônio Nazareno G. Mendes

A memória de meu irmão Luiz,
Aos meus PAIS Carmen e Sebastião

Ofereço

A minha esposa Ivany
e meus filhos, Daniel e
Marcelo

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras, pelos ensinamentos ministrados.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais-EPAMIG, pela oportunidade concedida.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais- FAPEMIG, pelo financiamento do projeto.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, CAPES- pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Augusto Ferreira de Souza e aos Pesquisadores, Francisco Dias Nogueira, Miralda Bueno de Paula, Antônio Nazareno Guimarães Mendes pelas orientações, sugestões amizade e convívio durante a realização deste curso;

Aos funcionários da Fazenda Experimental da EPAMIG de Cambuquira, em especial ao Técnico Júlio M. Silveira e a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Caracterização dos solos de várzeas	04
2.2. Principais alterações químicas dos solos, sob condições de inundação	06
2.3. Redução do ferro em solos inundados	07
2.4. O enxofre em solos inundados	10
2.5. Toxidez de ferro em arroz irrigado	12
2.6. Considerações gerais sobre calagem em arroz irrigado	13
2.7. Considerações gerais sobre o gesso agrícola (sulfato de cálcio dihidratado)	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Análise do solo	20
3.2. Instalação e condução	21
3.3. Parâmetros avaliados na planta	22
3.4. Características avaliadas no solo	22

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Componentes da produção	23
4.1.1. Nº de grãos/panícula	23
4.1.2. Nº de panículas/m linear	24
4.1.3. Kg de grãos/ha	26
4.2. Teores de nutrientes da parte aérea do arroz	29
4.2.1. Cálcio	29
4.2.2. Enxofre	29
4.2.3. Fósforo	30
4.2.4. Magnésio	31
4.2.5. Zinco	32
4.2.6. Manganês	34
4.2.7. Ferro	35
4.2.8. Potássio	37
4.2.9. Cobre	38
4.3. Características químicas do solo	38
4.3.1. Cálcio	38
4.3.2. Saturação de bases (V%)	41
4.3.3. Magnésio	42
4.3.4. Alumínio	44
4.3.5. Enxofre	47
4.3.6. Potássio	49
4.3.7. Ferro	51
4.3.8. Manganês	53
4.3.9. pH em água	55

5. CONCLUSÕES	56
6. RESUMO	57
7. SUMMARY	59
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
9. APÊNDICE	76

LISTA DE QUADROS

QUADRO		PÁGINA
1	Caracterização química e física do Solo Aluvial nas camadas de 0-20cm e 20-40cm de profundidade antes da calagem e gessagem	20
2	Resumo das análises de variância para N ₀ de grãos/panículas; kg grãos/ha; N ₀ de panículas/m linear	77
3	Resumo das análises de variância, parte aérea do arroz, Ca (%), S (%), P (%) e Mg (%)	78
4	Resumo das análises de variância parte aérea do arroz, Zn (%), Mn (ppm), Fe (ppm), K (%) e Cu (ppm)	79
5	Resumo das análises de variância das variáveis Ca (%), V (%), Fe (ppm), Mn (ppm) e pH no solo .	80
6	Resumo das análises de variância das variáveis Mg (meq/100cc), Al (meq/100cc), S (%), K (ppm) no solo	81

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS		PÁGINA
1	Nº de grãos/panícula, em função de doses de gesso, cultivar Inca e MG 2	24
2	Nº de panículas/m linear, em função de doses de gesso	26
3	Produção de arroz, em função de doses de gesso	28
4	Produção do arroz, em função de doses de gesso e de calcário, cultivares Inca e MG2 ..	28
5	Teores de Ca, S, P, Mg, em função de doses de gesso, cultivares Inca e MG2	32
6	Teores de Zn em função de doses de gesso, cultivares Inca e MG2	33
7	Teores de Mn em função de doses de gesso, cultivares Inca e MG2	35
8	Teores de Fe em função de doses de gesso e de calcário, cultivares Inca e MG2	36

9	Teores de potássio em função de doses de gesso e de calcário, cultivares Inca e MG2 ..	37
10	Teores de Ca em função de doses de gesso e de calcário, na profundidade de 0 - 20cm	40
11	Teores de Ca em função de doses de gesso e de calcário na profundidade de 20 - 40cm	40
12	Valores de saturação por bases (V%) em função de doses de gesso e calcário	42
13	Teores de Mg em função de doses de gesso, profundidade 0 a 40cm	44
14	Teores de Al em função de doses de gesso, profundidade 0 a 40cm	47
15	Teores de $S-SO_4^{2-}$ em função de doses de gesso, profundidade 0 - 40cm	48
16	Teores de K, em função de doses de gesso e calcário, profundidade 0 a 20cm	50
17	Teores de K em função de doses de gesso e calcário, profundidade 20 a 40cm	50

- 18 Teores de Fe no solo, em função de doses de
 gesso e calcário, profundidade 0 a 40cm 53
- 19 Teores de Mn no solo, em função de doses de
 gesso, profundidade 0 a 20cm e 20 a 40cm 54

1. INTRODUÇÃO

Com o progressivo aumento da população mundial, a demanda por alimentos torna-se cada vez mais elevada, principalmente em países do terceiro mundo. Torna-se necessário portanto expandir a oferta de alimentos. Este aumento pode dar-se pelo aumento da fronteira agrícola, através da exploração de novas áreas e ou aumento da produtividade.

A exploração de novas áreas tem se mostrado limitante, uma vez que as mesmas se encontram distantes dos grandes centros consumidores, acarretando elevação nos custos.

O aumento da produtividade, melhor uso dos recursos naturais, melhor aproveitamento dos fatores de produção, redução dos custos, tem levado à busca, cada vez mais frequente, da utilização dos solos de várzeas. Neste contexto a exploração das várzeas, por serem irrigáveis e naturalmente úmidas, é uma alternativa para aumentar a produção em áreas antes, com condições físico-químicas adversas.

Levantamentos pedológicos indicam a existência de 30 milhões de hectares de várzeas subutilizadas no Brasil, sendo 1,5 milhões em Minas Gerais. Somente no Triângulo Mineiro e Sul de Minas existem 190 mil hectares irrigáveis que poderiam ser utilizados durante todo ano, em sistema de rotação de culturas,

LAMSTER (1980). Por outro lado estes solos apresentam uma grande amplitude de variação no que diz respeito às características físicas e químicas, uma vez que são originadas de sedimentos formando um solo heterogêneo quanto à granulometria, teores de matéria orgânica e conseqüentemente no nível de fertilidade. A rotação de culturas e o sistema de cultivos implantados, tornam mais complexo o processo produtivo das várzeas. As Várzeas são normalmente, ocupadas por arroz irrigado por inundação no período das chuvas, e no período de entressafra, com diversas culturas de rotação de ciclo curto, e sob condições de outros tipos de irrigação além da inundação.

Sabe-se que durante o período de inundação nos solos de várzeas ocorrem transformações físicas, físico-químicas, eletroquímicas e biológicas, proporcionadas pelo meio redutor, importantes para a nutrição das plantas, principalmente para o arroz, alterando as condições químicas do solo e causando desequilíbrio nutricional. As transformações são devidas a processos biológicos de redução que resultam na diminuição do oxigênio molecular durante a respiração microbiana, causando alterações no potencial redox (Eh) e pH. O excesso de umidade, resulta em déficit de oxigênio que gera uma série de reações bioquímicas sob influência de alterações do potencial de oxirredução do solo.

Segundo PONNAMPERUMA (1972) a principal alteração química que ocorre em solo inundado seria, a redução dos óxidos de ferro e um conseqüente aumento na solubilidade de Fe^{+2} que é tóxico para as plantas quando em excesso .

Na tentativa de contribuir para o aumento da produção rizícola em solos de várzea, o presente trabalho tem por objetivos, avaliar os efeitos da aplicação do gesso e do calcário na redução da toxidez de ferro, bem como seus efeitos nos teores de nutrientes da parte aérea do arroz e características químicas do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização dos solos de várzeas

Sob a denominação de solos de várzeas encontram-se diversas unidades de solos, sendo dotados de relevo plano, topografia favorável à mecanização, facilidade de irrigação. Este último aspecto é de grande importância considerando a ocorrência de seca e/ou veranicos que são fatores limitantes da produção. Por outro lado, estes solos apresentam grandes variações físicas e químicas, que influem diretamente no nível de fertilidade.

Há uma idéia generalizada de que os solos de várzeas são naturalmente férteis, entretanto muitos trabalhos não confirmam este conceito, além de detectar uma perda rápida de fertilidade, talvez, por manejo inadequado, ABREU (1985).

Segundo FREIRE & NOVAIS (s.d.) as várzeas são constituídas de solos originários de deposição de materiais transportados por cursos d'água ou mesmo trazidos das encostas pelo efeito erosivo da chuva.

De acordo com CURI & ANDRADE (1983) nas várzeas são encontrados Solos Hidromórficos, Halomórficos e Aluviais. Segundo levantamentos realizados pela EMBRAPA (1982), FREIRE & NOVAIS (s.d.), no Estado de Minas Gerais, as classes mais frequentemente

encontradas nessa região são: Glei Húmico, Glei pouco Húmico, Orgânico e Aluvial (Entisol).

Algumas características do Solo Aluvial (Entisol) foram descritas segundo EMBRAPA (1982) e CURI & ANDRADE (1986), as quais são as seguintes: solos predominantemente minerais, relativamente recentes, pouco desenvolvidos, provenientes de formações fluviais e depósitos de baixada. Enquanto os Hidromórficos tendem estar localizados em depressões, os Aluviais encontram-se em posição mais elevada, sendo localizados em áreas de relevo praticamente plano. Apresenta diferenciação no horizonte A, por ter sofrido modificações resultantes da ação dos agentes formadores, sendo dotado de um horizonte pedogenético com características morfológicas definidas, e com camadas descontínuas, provenientes de deposições fluviais, que constitui o material matriz do solo.

Há perfis provavelmente mais evoluídos, que já apresentam um horizonte B incipiente, no qual se nota início de desenvolvimento de características próprias deste horizonte. Ocorrem normalmente associados aos Solos Hidromórficos e se nos primeiros 60cm de profundidade ocorrer cores acinzentadas ele deverá ser classificado tipicamente como Hidromórfico.

Na maioria dos casos, condições de fertilidade natural aliadas ao relevo plano, conferem a estes solos atributos adequados para uma utilização agrícola intensiva. No entanto podem apresentar limitações quanto à fertilidade e excesso de água.

2.2. Principais alterações químicas dos solos, sob condições de inundação.

Sob condições de inundação os solos de várzeas sofrem transformações físicas, físico-químicas, eletroquímicas e biológicas, proporcionadas pelo meio redutor.

Após inundação do solo o suprimento de oxigênio baixa a zero em menos de um dia. Os microorganismos aeróbicos consomem o oxigênio que resta em pouco tempo e entram em inatividade ou morrem, sendo substituídos pelos microorganismos anaeróbicos verdadeiros ou facultativos, FAGERIA (1984). Segundo PONNAMPERUMA (1972) esses microorganismos realizam a decomposição da matéria orgânica usando os componentes oxidados do solo como aceptores de elétrons, reduzindo-os.

Geralmente as reações de redução consomem H^+ e contribuem para o aumento nos valores de pH em solos ácidos, quando inundados. A relação entre H^+ e o número de elétrons consumidos durante a reação de redução e os teores de matéria orgânica oxidável, é que vão determinar a amplitude de aumento de pH nos solos ácidos, sob condições de inundação, PONNAMPERUMA (1972).

A ordem de utilização de elétrons dos principais aceptores, na reação do solo, potencial de equilíbrio das reações a pH 7,0 e potencial redox (V) são descritos por PONNAMPERUMA (1972); BOHN et alii (1979), indicam uma amplitude de potencial redox (V) entre 0,6 a -0,22. Nestas condições ocorre o desaparecimento do O_2 , NO_3^- , e formação de Mn^{2+} , Fe^{2+} , HS^- e H_2 respectivamente.

Segundo PONNAMPERUMA (1972), as principais alterações eletroquímicas nos solos inundados são: consumo do oxigênio

molecular; aumento do pH nos solos ácidos e diminuição do pH em Solos Sódicos e Calcários, devido ao aumento da pressão parcial de CO_2 , que resulta na liberação de íons H^+ ; diminuição do potencial de oxi-redução; redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} e do Mn^{4+} para Mn^{2+} ; aumento da disponibilidade de N, P, K Ca, Mg, Fe, Mn, Mo e Si; redução da disponibilidade de Zn, Cu e S; geração de toxinas, tais como, ácidos orgânicos, etileno e ácido sulfúrico. A extensão destas mudanças varia com as propriedades físicas e químicas do solo, regime de água e temperatura. Segundo SANCHEZ (1981) todas reações anteriores são reversíveis, pela reoxidação, quando um solo inundado, é drenado. O valor do pH retorna ao seu valor original. A velocidade da reoxidação, entretanto, depende da taxa de perda de água do solo. Em solos argilosos, o processo pode demorar vários meses, mas em solos bem agregados, a reoxidação começa poucos dias após a drenagem. MORAIS & FREIRE (1974) observaram que um período de dois dias foi suficiente para que os solos voltassem a apresentar as características observadas antes da inundação.

2.3. Redução do ferro em solos inundados

O ferro contido nos minerais do solo, é oxidado e transformado em óxidos livres no processo de intemperismo. Entre estes, a goetita é o mais encontrado em todas as regiões do mundo, seguida em condições aeróbicas, pela hematita, considerada por CAMARGO (1991) como um produto tipicamente tropical. A presença destes óxidos no solo reverte-se de grande importância,

pois são eles que praticamente governam a solubilidade do elemento junto com outros fatores, como complexação, hidrólise e condições de oxi-redução.

A química dos solos inundados é dominada mais pelo ferro, do que por qualquer outro elemento. A velocidade de redução dos óxidos de ferro segundo KAMPF (1987), depende basicamente: I) dos tipos de microorganismos, uma vez que as reações de redução consomem elétrons, e estes são provenientes da oxidação da matéria orgânica por organismos heterotróficos do solo; II) depende da atividade bacteriana que é função da quantidade e da qualidade da matéria orgânica de fácil decomposição, bem como do teor de água no ambiente; III) das concentrações e tipos de óxidos de ferro.

Os cálculos termodinâmicos mostram que, possivelmente, há diferenças na velocidade de redução dos diferentes óxidos de ferro. Foi observado que lepidocrocita e ferrihidrita são os mais fácil e rapidamente reduzidos que goetita e hematita. Isto se deve a maior área específica da ferrihidrita e lepidocrocita em relação aos outros óxidos, SCHWERTMANN (1964). Energeticamente, é mais fácil, também, reduzir ferrihidrita, seguida da lepidocrocita e goetita, respectivamente. Consequentemente, os organismos siderófilos reduzirão preferencialmente óxidos de ferro de baixa cristalinidade, como a ferrihidrita e, em certos casos, a lepidocrocita, dotados de energia de ligação significativamente menor, MUNCH & OTTOW (1980).

Segundo SCHWERTMANN (1964) o teor de ferro extraível em ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) dificilmente se relacionam com a quantidade de ferro reduzido durante a inundação porque

incluem óxidos de muito baixa solubilidade. O ferro extraível com oxalato de amônio 0,2M e pH 3 é constituído por uma fração de óxidos de baixa cristalinidade e provavelmente constitui a fração que melhor se relaciona com a redução do ferro.

Segundo GOMES et alii (1987) é necessário conhecer a concentração relativa de Fe^{2+} na solução do solo, que é, aparentemente, o fator que causa o desequilíbrio nutricional nas plantas.

De acordo com KAMPF (1987) à medida que o Fe^{2+} é formado durante o processo de redução, ele está sujeito às reações de precipitação, na forma de novos óxidos, e de adsorção. Nas reações de adsorção são liberados para a solução, quantidades equivalentes de outros cátions inicialmente presentes no solo. Isto significa que o Fe^{2+} pode ser incorporado ao complexo de troca imediatamente e, em consequência as reações de precipitação de óxidos ferroso são controladas também pelas reações de troca.

Solos com alta CTC poderão suportar quantidades significativas de óxidos recém-precipitados. A atividade de Fe^{2+} na solução do solo é controlada pelo complexo de troca e pelas reações de precipitação, quando o produto de solubilidade for ultrapassado, SCHWERTMANN (1988).

2.4. O enxofre em solos inundados

A níveis muito intensos de redução do solo, o sulfato reduz-se a sulfetos e segundo PONNAMPERUMA (1972) o principal produto da redução do enxofre nestas condições é o H_2S .

A produção de sulfeto em solos inundados se dá por meio de bactérias anaeróbicas obrigatórias do gênero *Desulfovibrio*, que usam SO_4^{-2} como receptor final nas reações de oxidação do carbono, BLAIR et alii (1978).

A produção de H_2S a partir da redução do sulfato, embora possa atingir níveis tóxicos para o arroz, tende a ser de pouca importância, uma vez que o íon sulfeto (S^{-2}) produzido, normalmente combina com metais em formas reduzidas, principalmente Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^+ formando compostos insolúveis, de baixa ou nenhuma disponibilidade para as plantas, CONNELL & PATRICK JUNIOR (1969).

A precipitação de certos íons metálicos na forma de sulfetos, em solos sob inundações, tem sido mencionada como um importante mecanismo na prevenção de toxicidade, tanto do íon S^{-2} como dos íons metálicos, GUILHERME (1990).

Segundo ENGLER & PATRICK JUNIOR (1975), sob condições anaeróbicas, MnS , FeS , ZnS , CuS , HgS eram altamente estáveis, e embora, em alguns casos a solubilidade de alguns compostos permitisse a elevação dos teores de H_2S a níveis tóxicos, este era oxidado na região da rizosfera do arroz e posteriormente absorvido nesta forma.

A redução do sulfato em solos inundados, pode trazer as seguintes implicações para a cultura do arroz, segundo

PONNAMPERUMA (1972): a toxicidade de H_2S pode ocorrer em solo com baixos teores de ferro; cátions metálicos, considerados nutrientes, podem ser transformados em sulfetos insolúveis causando deficiência destes para as plantas, principalmente Zinco e Cobre; o suprimento de enxofre pode tornar-se insuficiente.

Respostas à aplicação de enxofre tem sido pouco estudadas embora a adição desse nutriente tenha proporcionado aumentos na produção do trigo, CAMARGO & ALVES (1972) e CAMARGO & ROCHA (1972). Segundo BARBOSA FILHO (1987), embora o enxofre seja pouco exigido pelo arroz, a sua exportação pelos grãos é relativamente alta, sendo um nutriente importante no processo fotossintético.

Devido à aplicação de enxofre no arroz como um nutriente secundário, na forma de sulfato de amônio (24% de S), superfosfato simples (12% de S) e sulfato de potássio (18% de S) durante muito tempo pouca atenção tem sido dada à nutrição e demanda de enxofre pelo arroz. Mas com a tendência de substituir estas formas de nutrientes por formulações concentradas (Ureia, fosfato diamônio e superfosfato triplo) a deficiência de enxofre está aumentando, causando redução no número de perfilhos e panículas, BLAIR et alii (1979). Como as plantas absorvem enxofre somente na forma de sulfato, o estado de oxidação do enxofre no solo inundado é importante. Devido à redução do SO_4^{2-} a disponibilidade do enxofre para o arroz tem sido menor sob condições inundadas, BLAIR et alii (1979).

2.5. Toxidez de ferro em arroz irrigado

O aumento da disponibilidade de Fe^{2+} é uma importante alteração química que ocorre quando o solo é inundado e a cultura do arroz pode ser prejudicada pelo seu excesso, causando toxicidade e dificultando a absorção de macro e micronutrientes essenciais pela planta, PONNAMPERUMA (1977).

Atualmente, sabe-se que a toxicidade de ferro é de ocorrência generalizada, sendo constatada em vários países. No Brasil, o problema foi observado principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, e em menor intensidade no Estado de Goiás, provocando grandes perdas na cultura do arroz irrigado, BARBOSA FILHO (1987).

O nível crítico varia com a cultivar, a idade e estágio nutricional da planta, TANAKA et alii (1966). O nível tóxico, na planta, é bastante amplo e varia de 40 a 800ppm, ou mais, em comparação com as plantas ditas normais (150ppm). Em solos inundados a concentração de ferro pode atingir 600ppm dentro de uma a três semanas após a inundaçãõ e, em seguida decrescer para a faixa de 50 a 100ppm, persistindo, neste intervalo, por vários meses, PONNAMPERUMA (1977).

Segundo FREIRE et alii (1984) a toxicidade pode ocorrer tanto por efeito direto ou indireto do ferro. O efeito direto é causado pela absorção excessiva do elemento, estando relacionado com um alto nível de Fe^{2+} na solução do solo. Os teores de Ferro foliar, em geral, estão acima do nível crítico (300ppm). O efeito indireto é causado pelos altos teores de ferro na solução do

solo, que são precipitados sobre as raízes, formando uma crosta de óxido férrico, reduzindo a capacidade do sistema radicular em absorver nutrientes, especialmente P, K, Ca e Mg de um meio que pode ser, naturalmente, deficiente. FAGERIA (1984) relata que os principais sintomas de toxicidade de ferro em arroz irrigado são: crescimento e desenvolvimento retardados; redução do perfilhamento e amarelecimento das folhas; raízes curtas, grossas, pouco ramificadas e de coloração avermelhada pela deposição de óxidos de ferro na sua superfície. Os distúrbios nutricionais causados pelo excesso de ferro e deficiência de Ca, Mg, K, Zn frequentemente ocorrem no cultivo do arroz em solos inundados, FAGERIA et alii (1981) e FREIRE et alii (1984). Segundo BARBOSA FILHO et alii (1987), a severidade da toxicidade de ferro está associada aos baixos teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz, não havendo necessidade de eliminar completamente o ferro tóxico.

2.6. Considerações gerais sobre a calagem em arroz irrigado.

Além de mudanças físicas, na estrutura e porosidade, a calagem afeta várias características químicas do solo que são importantes para o desenvolvimento das plantas: aumenta a disponibilidade e o aproveitamento de nutrientes, principalmente N, P, S, Mo; aumenta a mineralização da matéria orgânica pelos

microorganismos que exigem pH próximo da neutralidade; corrige a acidez do solo através da diminuição dos íons H^+ e da neutralização do alumínio; é fonte de cálcio e magnésio para as plantas, BARBOSA FILHO (1987).

A maioria dos solos cultivados no Brasil, e inclusive os de várzeas, se caracterizam quimicamente, pela baixa fertilidade natural, baixa saturação de bases, altos teores de alumínio trocável e elevada acidez. Estas características limitam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas afetando a absorção de água e de nutrientes, LOPES (1984).

Embora no cultivo do arroz irrigado por inundação, ocorra elevação natural do pH, diminuição do efeito prejudicial do alumínio, aumento da disponibilidade de P, Ca e Mg, o uso da calagem tem beneficiado a cultura do arroz, principalmente em solos com baixos teores de Ca e Mg, BARBOSA FILHO (1987).

Sabe-se que o processo de redução proporcionado pela inundação do solo, é reversível, havendo retorno do pH ao seu valor original, quando ocorre a retirada da lâmina de água. Assim sendo, espera-se que na utilização destas áreas com culturas de entressafra venham surgir problemas de acidez elevada, alta saturação de alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes.

A avaliação de respostas à calagem em arroz irrigado são controvertidas, e muitos autores não encontraram resultados favoráveis significativos, LEITE et alii (1970); SCHIMIDT & GARGANTINI (1970); FAGERIA et alii (1977). Entretanto VAHL et alii (1978), através da elevação do nível de Ca + Mg que inicialmente era de 4,5 meq/100g, obteve aumento significativo da

produtividade do arroz. MACHADO et alii (1985) em quatro safras contínuas de arroz irrigado, concluíram que a calagem aumentou significativamente a produtividade no primeiro ano, mas não teve efeito nos anos subsequentes.

Vários autores citam a calagem como eficiente no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado, RAMOS et alii (1981); BARBOSA FILHO (1987); FREIRE et alii (1985); LOPES (1987); FISHER et alii (1990).

Segundo PAULA et alii (1990) os teores de P, K, Ca e Mg no solo, têm efeito indireto na redução da toxicidade de ferro e correlacionou baixos teores de ferro foliar com maiores teores de P, K, Ca, Mg e Zn no solo.

2.7. Considerações gerais sobre o gesso agrícola (Sulfato de Cálcio dihidratado)

O gesso agrícola, sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um subproduto na obtenção do ácido fosfórico, utilizado na fabricação de fertilizantes fosfatados. Em média, para cada tonelada de ácido fosfórico produzido, obtem-se 4 a 5 toneladas de gesso. Seu acúmulo em bacias de deposição torna-se um transtorno para a indústria, onera o custo dos fertilizantes, abrindo espaço para estudos sobre sua utilização.

O gesso agrícola dihidratado apresenta-se sob a forma de pó branco-amarelado e compõe-se de: 15 a 17% de umidade livre; CaO, 26 a 28%; S, 15 a 16%; P_2O_5 , 0,6 a 0,75%; SiO_2 (insolúveis em ácidos) 1,26%; F (fluoretos), 0,63%; R_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), 0,37%,

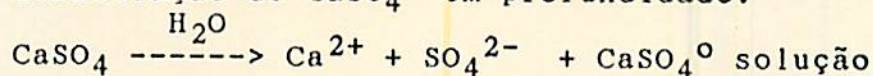
segundo VITTI et alii (1986).

O gesso tem uma solubilidade aproximada de 2,5g/litro, mas diversos fatores afetam este valor. Segundo NAKAYAMA (1971) a presença de outros sais altera a solubilidade e se os cátions destes sais forem monovalentes, a solubilidade aumenta.

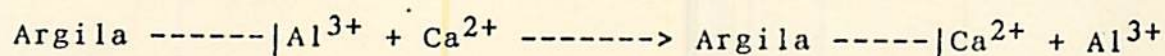
De acordo com MALAVOLTA (1992) vários são os usos do gesso na atividade agrícola: Fonte de Ca e S; melhorador de ambiente radicular (diminuição da toxidez de alumínio); correção de solos sódicos; diminuição na salinidade do solo ou do adubo; redução das perdas de nitrogênio na fermentação do esterco.

Ainda de acordo com MALAVOLTA (1992) ocorrem as seguintes reações, quando o gesso é aplicado ao solo:

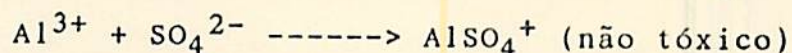
1. dissociação do CaSO_4^0 em profundidade:



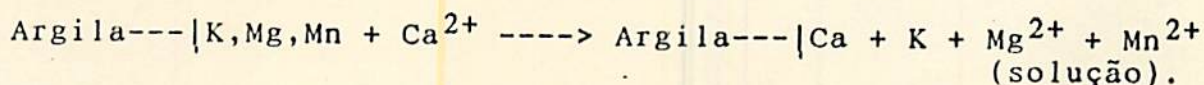
2. troca iônica entre o Ca^{2+} do gesso e o Al^{3+} adsorvido à argila



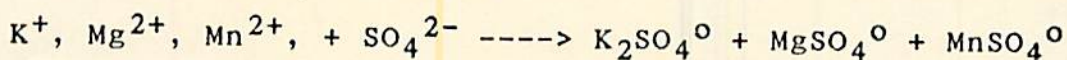
3. Complexação do Al^{3+} (tóxico) pelo SO_4^{2-}



4. Outras reações de troca na superfície



5. Formação de pares iônicos



A ação do gesso é geralmente mais efetiva nas camadas subsuperficiais, enquanto a do calcário se manifesta mais na superfície, GUIMARÃES (1986).

Segundo LOPES (1986) o melhor efeito do gesso é quando o

teor de Ca trocável for igual ou inferior a $0,3 \text{ meq}/100\text{cm}^3$ ou se a concentração do Al trocável for igual ou maior que $0,5 \text{ meq}/100\text{cm}^3$ ou se a saturação de Al for igual ou maior que 40%.

Segundo RAIJ (1988) a adição de gesso em profundidade reduz a saturação em alumínio, por diluição dos cátions trocáveis com gesso, não se devendo interpretar isso como redução de acidez ou de Alumínio. A formação do par iônico AlSO_4 não deve ser considerada como neutralização do alumínio, e sim como cancelamento mútuo de cargas elétricas, reduzindo a atividade do alumínio.

A aplicação de gesso é responsável pela lixiviação de K, Ca, Mg, fato constatado por REEVE & SUMNER (1972); RITCHEY et alii (1981) e PAVAN et alii (1984). Para as bases se movimentarem no solo, é necessário a existência de ânions acompanhantes. O radical SO_4^{2-} associado ao CaSO_4^0 , que é solúvel e não reage com as cargas elétricas dos colóides, promove a movimentação do Ca para as camadas subsuperficiais, PAVAN (1983). A lixiviação de potássio depende em grande parte dos teores de K, Ca e Mg dos solos, sendo que a melhor relação entre cátions lixiviados e cátions trocáveis foi obtida quando se usou a expressão $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$, segundo RAIJ & CAMARGO (1973). Isto significa que as perdas de K serão menores para baixos teores de K e maiores teores de Ca+Mg no complexo de troca.

Assim, a calagem e adição de gesso contribuem para perdas menores de K.

QUAGGIO et alii (1982) constataram perdas menores de K em presença de doses mais elevadas de calcário.

As razões que levam o SO_4^{2-} ser menos retido, na camada arável, quando se compara com as camadas subsuperficiais dos solos ácidos, são em geral, as seguintes: maior eletronegatividade, pH mais elevado e a presença de maiores teores de fosfatos, preferencialmente adsorvidos em relação ao sulfato, RAIJ (1988).

Segundo MALAVOLTA (1992) quando se aplica gesso, praticamente não há mudanças no pH, fato confirmado por PAVAN et alii (1984).

Além da lixiviação de Ca em profundidade, o gesso pode promover a movimentação de outras bases principalmente K e Mg através do perfil do solo, MALAVOLTA (1992).

Espera-se ainda, outro comportamento do gesso, em condições de solo inundado (ambiente de redução) onde após sua dissociação em Ca^{2+} e SO_4^{2-} o sulfato será reduzido, e o gás sulfídrico produzido poderá reagir com o ferro formando sulfeto de ferro (FeS) insolúvel, evitando assim, problema de toxidez de ferro para a cultura do arroz, MALAVOLTA et alii (1981).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no campo experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG, no município de Cambuquira, sul de Minas Gerais, em Solo Aluvial (Entisol) em cujos drenos era visível a presença de ferrihidrita.

Foram coletadas amostras do solo até a profundidade de 40cm, para caracterização química e física da área experimental, a qual é apresentada no quadro 1.

3.1. Análise do solo

Quadro 1. Caracterização química e física do Solo Aluvial na camadas de 0 a 20 e 20 a 40cm de profundidade antes da calagem e da gessagem.

	PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM (cm)	
	0 a 20	20 a 40
pH (H ₂ 1:2,5)	5,1	4,8
P (ppm) Melich I	6,0	4,0
K (ppm) Melich I	73,0	22,0
Ca (meq/100cc) KCl 1N	1,1	0,7
Mg (meq/100cc) KCl 1N	0,3	0,2
Al (meq/100cc) KCl 1 N	1,7	1,8
H + Al (meq/100cc) SMP	7,0	5,6
S (meq/100cc)	1,6	1,0
t (meq/100cc)	3,3	2,8
T (meq/100cc)	8,6	6,6
m (%)	51,6	64,3
V (%)	18,7	15,2
S-SO ₄ (ppm)	4,0	3,0
Zn (ppm) Melich I	5,6	2,1
Cu (ppm) Melich I	5,3	3,4
Fe (ppm) Melich I	782,1	310,0
Mn (ppm) Melich I	45,9	15,9
Areia (%)	18,0	50,0
Limo (%)	29,0	20,0
Argila (%)	53,0	30,0
M.O. (%)	8,4	7,6
Ferrihidrita (%)	2,43	-

As análises físicas e químicas foram feitas previamente segundo VETTORI (1969) e EMBRAPA (1979).

A ferrihidrita (Fe₅HO₈.4H₂O) foi obtida segundo método de SCHWERTMANN (1964), multiplicando o teor médio de FeO (1,43%) pelo fator 1,7. O teor médio obtido foi de 2,43%.

O enxofre (SO₄²⁻) foi determinado segundo BARDSLEY & LANCASTER (1965).

3.2. Instalação e condução.

Para as variáveis, componentes da produção e teores de nutrientes da parte aérea, foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial, utilizando 4 doses de gesso (0; 600; 1200; 2400 Kg/ha) calculadas segundo C.F.S.E.M.G. (1989) e 1 dose acima (2400) para testar efeito excedente; 2 níveis de calagem (0; 2,7 t/ha), calculado pelo método de saturação de bases a 50% RAIJ (1981); duas cultivares de arroz (Inca; MG2), sendo 16 tratamentos, e 3 repetições, totalizando 48 parcelas.

Para análise estatística das características químicas do solo foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas, sendo 4 doses de gesso (0; 600; 1200; 2400 Kg/ha); 2 níveis de calagem (0; 2,7 t/ha), nas parcelas, e duas profundidades (0 a 20; 20 a 40 cm) na subparcela, com 16 tratamentos e 3 repetições, totalizando 48 parcelas. O calcário e o gesso foram incorporados ao solo, 60 dias antes do plantio, a 15 cm de profundidade. Foi utilizado calcário dolomítico, com 80% de P.R.N.T.

A parcela teve a dimensão de 3 x 3 m, contendo 8 fileiras úteis, com espaçamento de 0,30m entre linhas. As parcelas foram separadas por taludes, de forma trapezoidal com dimensão 0,5m na base menor 0,80m na base maior. A densidade de semeadura do arroz foi de 400 sementes/m².

A adubação básica de plantio foi de 60kg N, 90kg P₂O₅ e 60kg K₂O/ha, conforme recomendação C.F.S.E.M.G. (1989), 4a

[REDACTED]

aproximação. A adubação nitrogenada foi parcelada, sendo 1/3 aos plantio, 1/3 35 dias após a emergência e 1/3 aos 70 dias após a emergência. A lâmina d'água foi retirada 3 dias antes da aplicação de nitrogênio e restabelecida 3 dias após.

Após o plantio foram feitas pequenas irrigações até a germinação. A irrigação por inundação foi iniciada a partir do 15º dia após a emergência das plântulas. A altura média da lâmina d'água foi aumentada progressivamente, de acordo com o desenvolvimento das plantas até atingir a altura média de 8cm. A retirada definitiva da lâmina foi 20 dias após a floração; segundo REIS (1990). A colheita foi feita manualmente, quando os grãos apresentaram 20 a 25% de umidade, BRANDÃO et alii (1970).

3.3. Parâmetros avaliados na planta.

A amostragem foliar foi realizada segundo HOWELER (1983), no estágio de diferenciação da panícula, e os teores de macro e micronutrientes na parte aérea determinados conforme tecnologia preconizada por SARRUGE & HAAG (1974) e componentes da produção.

3.4. Características avaliadas no solo.

Após a colheita foram feitas amostragens do solo, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40cm para determinação dos efeitos do gesso e do calcário nas características químicas do solo. As análises foram realizadas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da ESAL.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Componentes da produção

4.1.1. Nº de grãos/panícula

Os resultados da análise de variância podem ser observados no Quadro 2. Houve efeito significativo do gesso, variedade e da calagem, sobre o nº de grãos/panícula. Observa-se que houve aumento do nº de grãos /panícula até a dose estimada de 1575kg/ha de gesso, Fig. 1. Resultados semelhantes mostrando o benefício da calagem sobre os componentes da produção foram obtidos por MACHADO et alii (1985).

A cultivar Inca apresentou maior nº de grãos /panícula (133) que a MG2 (119). PRADO LEITE et alii (1984) em trabalhos com arroz irrigado, em Solo Aluvial, cita 115 o número máximo de grãos/panícula produzido com a cultivar IAC 899. A maior produção de grãos/panícula obtida com 1575 kg de gesso aproxima-se da dose de gesso recomendada pela C.F.S.M.G. (1989) que é de 1,5 t para solo cujo conteúdo de argila se situa entre 36 e 60%.

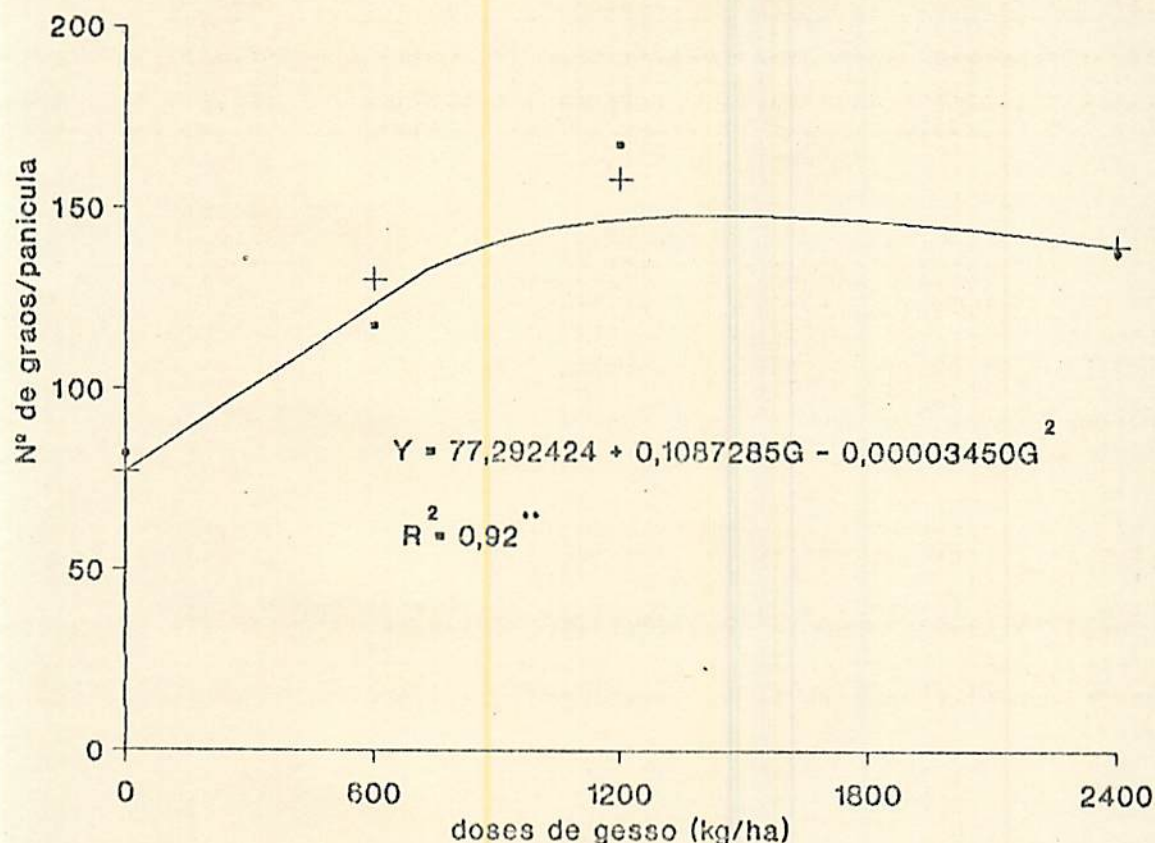


Fig. 1. Nº de grãos/panícula, em função de doses de gesso.

4.1.2. Nº de panículas/m linear

Verifica-se que houve efeito significativo do gesso, e da calagem sobre o nº de panículas/m linear (Quadro 2). Observa-se pela Figura 2, que houve aumento do nº de panículas/m linear até a dosagem de 1424kg/ha, a qual se aproxima da quantidade recomendada pela C.F.S.E.M.G. (1989), considerando o teor de argila do solo. NOGUEIRA et alii (1991) testando doses de gesso, conseguiu maior produção com as doses de 1200 e 2400kg/ha de

gesso, para as cultivares MG2 e Inca respectivamente e cita a cultivar Inca como a mais responsiva. O $S-SO_4$ fornecido pelo gesso aumenta o nº de panículas, BLAIR et alii (1979).

No presente trabalho a cultivar Inca também foi superior a cultivar MG2 (Tuckey 5%). PRADO LEITE et alii (1984) em trabalho com arroz irrigado, em Solo Aluvial, cita 415 panículas/m² (espaçamento 20cm) como a produção máxima conseguida e, no presente trabalho, o nº médio de panículas/m linear foi de 128 o que corresponderia a 384 panículas/m², para o espaçamento entre linhas utilizado que foi de 30cm.

O tratamento com calagem foi superior ao tratamento sem calagem, o que é atribuído, à melhoria das características químicas do solo e, principalmente, ao fornecimento de Ca e Mg.

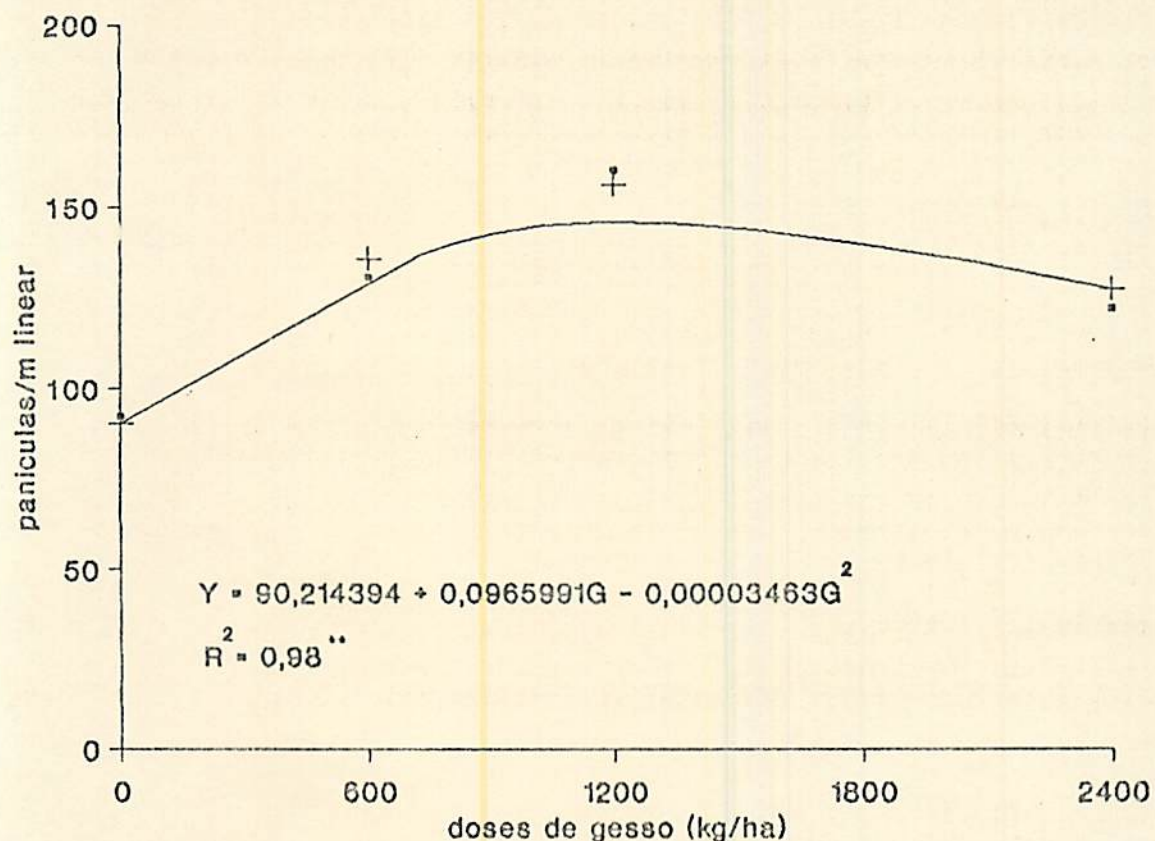


Fig. 2. Nº de panículas/m linear, em função de doses de gesso

4.1.3. Kg de grãos/ha.

Houve efeito significativo de cultivar, gesso, calagem e das interações gesso x cultivar e gesso x calagem sobre a produção de grãos, Quadro 2. Houve diferença significativa entre as cultivares testadas, com o aumento das doses de gesso. Observa-se pela Fig. 3, que a cultivar Inca apresentou ligeira superioridade sobre a cultivar MG2, o que, também, foi comprovado nas variáveis nº de grãos/panícula e panículas/m linear, evidenciando maior capacidade produtiva, sugerindo ser mais responsiva ao gesso, aumenta o nº de perfilhos e de panículas, BLAIR et alii (1979). A

interação gesso x calagem aumentou a produção de grão, Fig. 4, sendo que a maior produtividade média estimada das cultivares (7548kg/ha) foi obtida com a dose de 1374kg/ha de gesso, com calagem.

Convém ressaltar que a cultivar Inca produziu 8041kg/ha, contra 7680kg da MG2, quando se utilizou 1200kg/ha de gesso em presença de calcário, e decresceu para 7471 e 6617Kg/ha, respectivamente, com a mesma dosagem de gesso, na ausência de calagem.

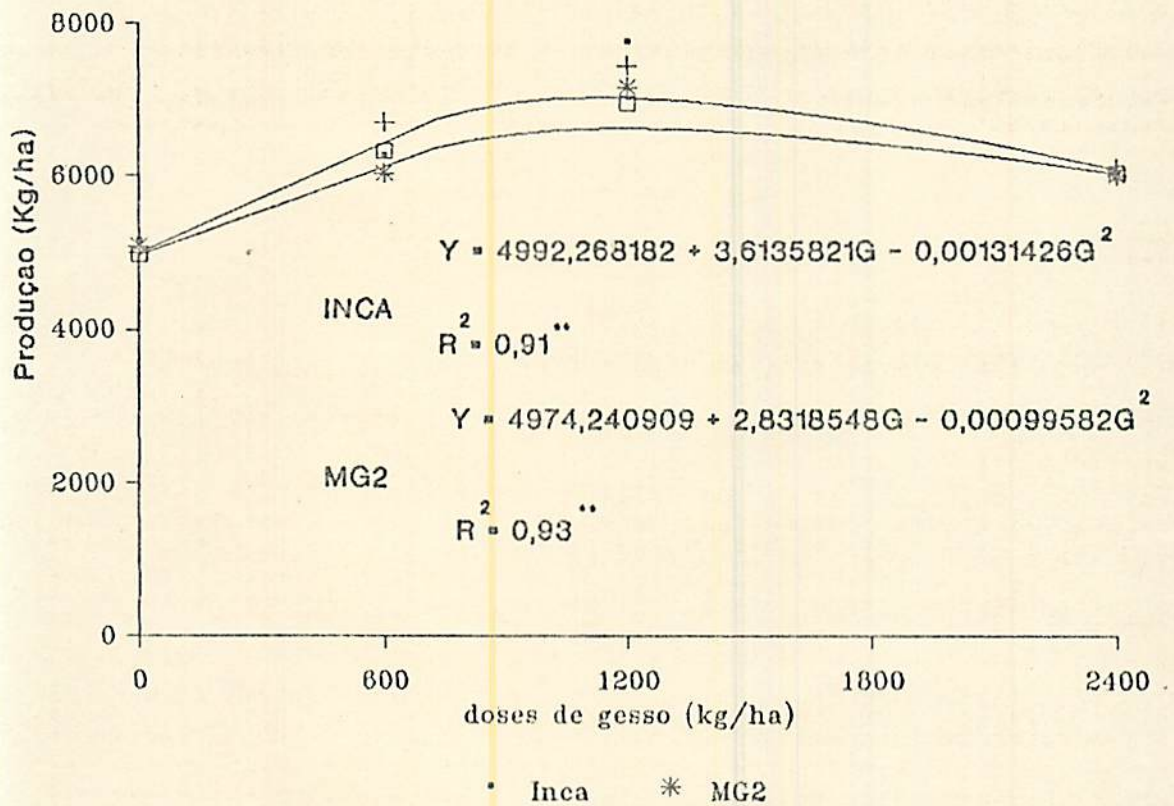


Fig. 3. Produção do arroz, em função de doses de gesso.

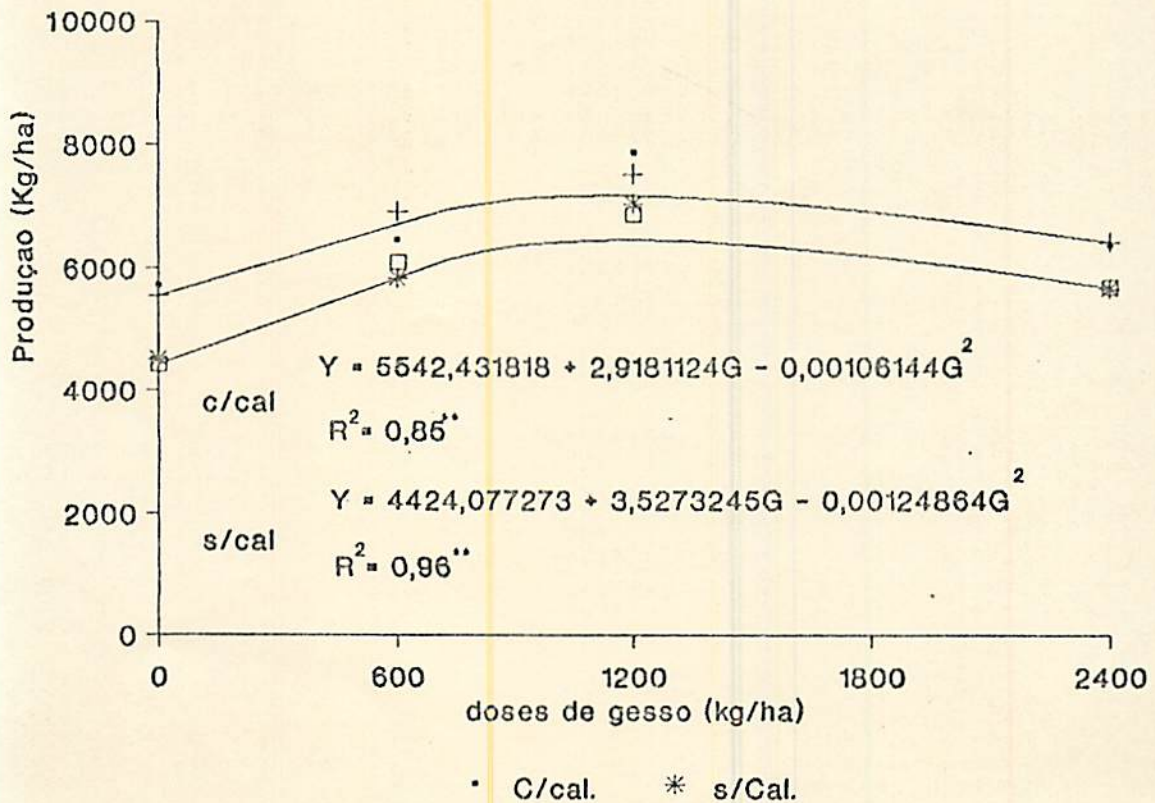


Fig. 4. Produção do arroz, em função de doses de gesso e de Calcário, cultivares Inca e MG2.

4.2. Teores de nutrientes da parte aérea do arroz.

4.2.1. Cálcio

O efeito significativo do gesso e do calcário sobre os teores de Ca da parte aérea, é mostrado no Quadro 3. As doses de gesso testadas aumentaram de forma expressiva os valores de Ca da parte aérea do arroz, Fig. 5. A aplicação do gesso e da calagem elevam os teores de Ca e Mg no solo, e a disponibilidade para as plantas de acordo com RAIJ (1992).

4.2.2. Enxofre

Houve efeito significativo do gesso e da interação cultivar x calagem sobre o teor de S na parte aérea, como mostra o quadro 3. Embora as cultivares se diferenciassem estatisticamente na presença e ausência da calagem, pelo teste F, não houve diferenças pelo teste Tukey (5%).

Os teores de $S-SO_4$ na parte aérea aumentaram significativamente com as doses de gesso aplicadas como mostra a Fig. 5. Segundo SUMNER (1992) o gesso tem sido usado como condicionador e melhorador de solos sódicos, argilosos pesados, e como fonte de nutrientes (Ca e S) para as plantas. A adição de gesso tem aumentado a produção das culturas e as respostas parecem ser devidas à nutrição de Ca e S e neutralização dos efeitos prejudiciais do Al nos solos, SUMNER (1992).

4.2.3. Fósforo

Como mostra o Quadro 3, houve efeito significativo do gesso, da cultivar e da calagem, sobre os teores de P, da parte aérea do arroz, mas as cultivares, não se diferenciaram pelo teste de Tukey (5%). O tratamento com calagem aumentou os teores de P em comparação com o tratamento sem calagem. As doses de gesso reduziram os teores de P na parte aérea, Fig. 5, o que pode ser explicado, em parte, pela competição aniônica entre $\text{PO}_4^{=}$ e $\text{SO}_4^{=}$ ou seja, maior absorção de SO_4 em detrimento de PO_4 , MALAVOLTA (1980).

Durante o período de inundação os solos de várzea sofrem transformações físicas, químicas e eletroquímicas, proporcionadas pelo meio redutor, havendo elevação do pH dos solos ácidos a valores próximos da neutralidade e aumento na disponibilidade no solo de P, K, Ca, Mg, PONNAMPERUMA (1972). Nota-se que os teores de P na parte aérea decresceram nestas condições, enquanto que os teores de Ca se elevaram. Devido às altas concentrações de Ca livre, em solução, em pH próximo da neutralidade, é viável a formação de complexos do tipo fosfatos de Ca, reduzindo sua disponibilidade e conseqüentemente o teor de P na parte aérea. Também a redução do teor Mg, que é o íon carregador de P, tem reflexos diretos na redução de sua absorção, MALAVOLTA (1980).

2.4.4. Magnésio

O Quadro 3 mostra efeitos significativos do gesso, calagem e da interação cultivar x gesso, nos teores de Mg na parte aérea do arroz. Embora as cultivares não se diferenciasssem pelo teste Tukey (5%), a cultivar Inca apresentou maiores teores de Mg. As doses de gesso reduziram os teores de Mg na parte aérea, Fig. 5. A alteração da relação Ca e Mg, no solo favorece a absorção de Ca, que compete com o Mg, MALAVOLTA (1980).

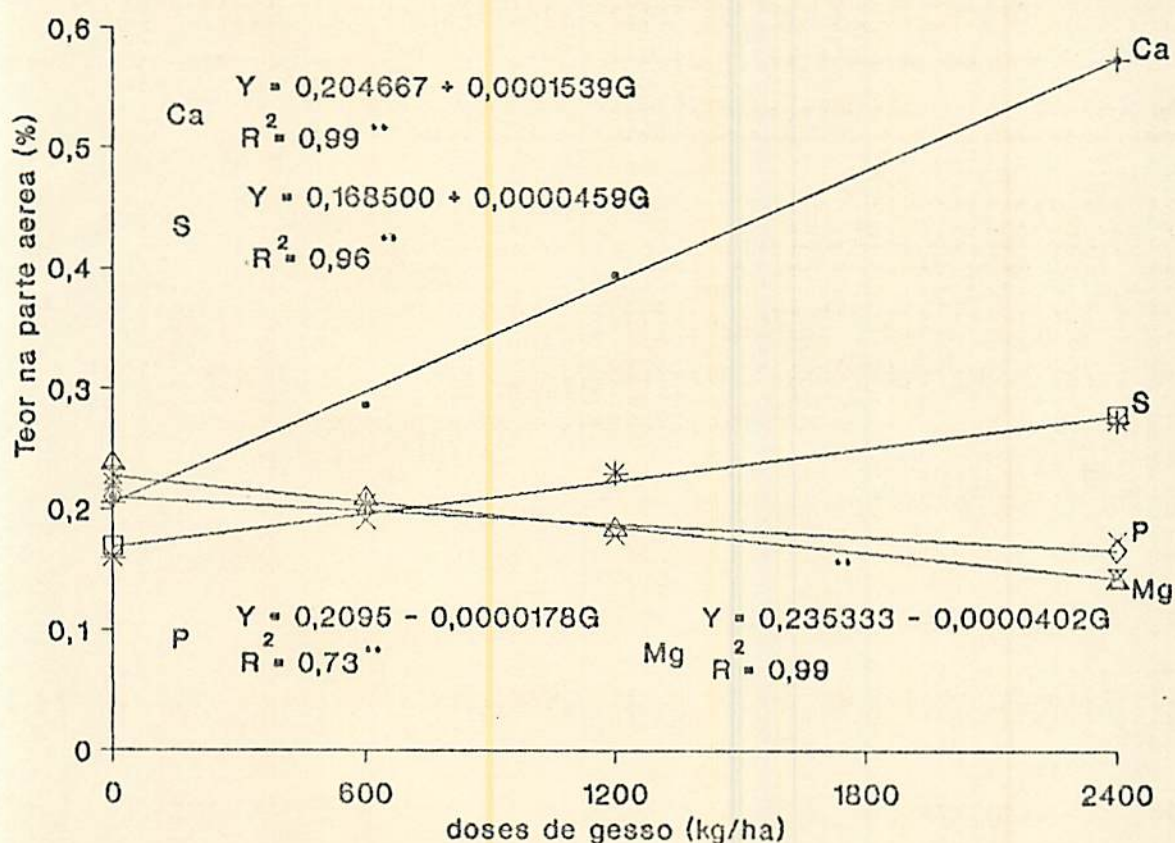


Fig. 5. Teores de Ca, S, P, Mg, em função de doses de gesso, cultivares Inca e MG2.

4.2.5. Zinco

Houve efeito significativo do gesso, cultivares e calagem, sobre os teores de Zn da parte aérea do arroz, Quadro 4. A cultivar MG2 apresentou maiores teores de Zn que a Inca, Tukey (1%). O tratamento com calagem, bem como as doses de gesso, diminuíram os teores de Zn, na parte aérea, dentro das doses testadas, Fig. 6. A redução dos teores de Zn, induzida pela

calagem é fato conhecido e citado por SINGH & SINGH (1980) e BARBOSA FILHO (1987). O antagonismo entre Ca e Zn, explica-se principalmente pelo efeito indireto da calagem, sobre o aumento de pH, diminuindo a disponibilidade de Zn no solo e ainda pelo efeito direto do Ca, competindo pelos sítios de absorção, MENGEL & KIRKBY (1979). Em solos inundados também ocorre diminuição da disponibilidade de Zn, que pode ser complexado por compostos orgânicos e ainda dar origem à formação de carbonatos e hidróxidos de Zn, BRAR & SEKHON (1976).

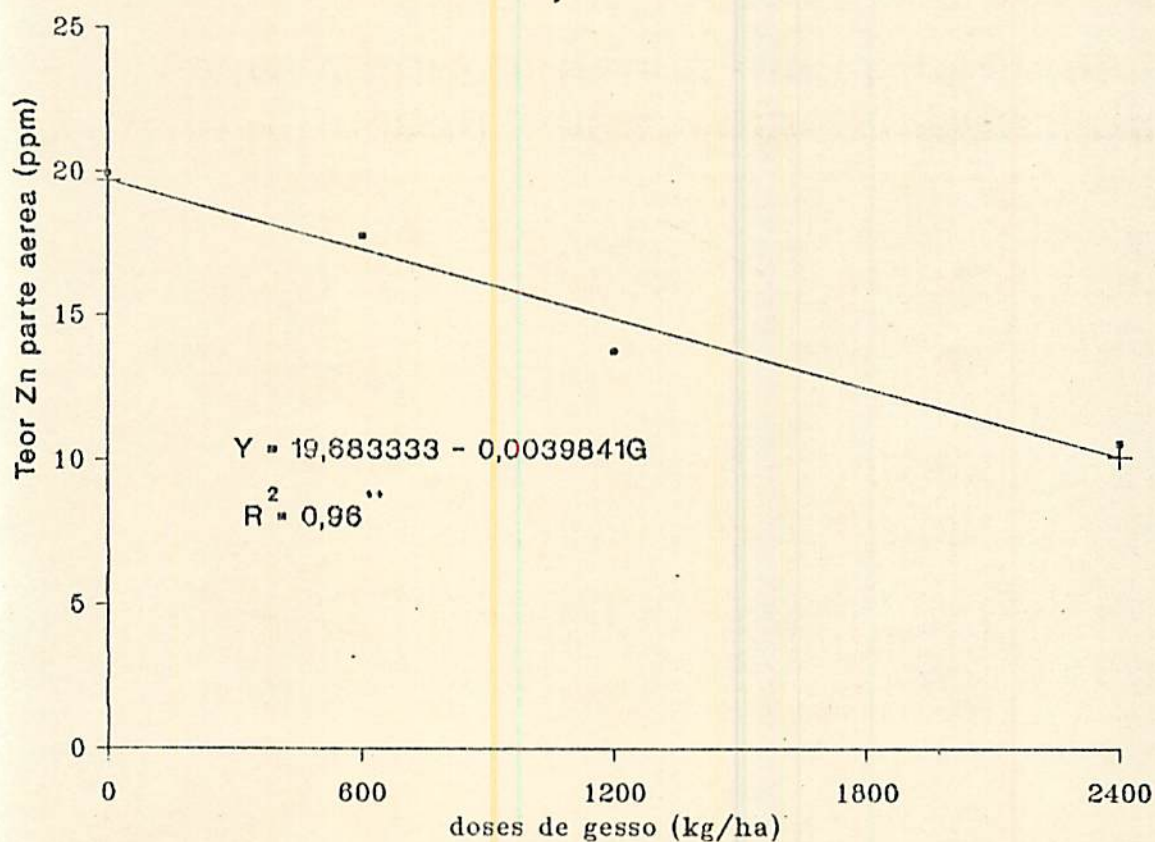


Fig 6. Teores de Zn em função de doses de gesso, cultivares Inca e MG2.

4.2.6. Manganês

Houve efeito significativo de cultivares, gesso e da calagem sobre os teores de Mn da parte aérea do arroz, Quadro 4. Embora não fosse expressivo, a cultivar Mg2 apresentou maiores teores médios que a cultivar Inca, 458 e 445 ppm respectivamente, na ausência do gesso e da calagem e 73 e 72 ppm respectivamente (MG2 e Inca) para a dose zero de gesso, com calagem, o efeito da calagem reduzindo os teores de Mn, é fato conhecido, devido ao aumento do pH, diminuindo a solubilidade do Mn. A solubilidade do Mn aumenta com a inundação, devido a redução destes compostos em formas mais solúveis e o pico da concentração ocorre durante os trinta primeiros dias de inundação, decrescendo, gradualmente, após este período, sendo que esta queda é atribuída à precipitação do Mn como carbonato de Mn ($MnCO_3$), PONNAMPERUMA (1972). Observa-se pela Fig. 7, que os teores de Mn decresceram, dentro das doses de gesso testadas. A absorção de Mn difere entre espécies de planta, sendo geralmente baixa, quando na presença de Ca e Mg. Isto mostra a importância destes elementos no controle nutricional das plantas, MENGEL & KIRKBY (1979). A redução dos teores de Mn da parte aérea deve-se, além do aumento do pH, principalmente ao efeito direto de Ca contido na solução do solo.

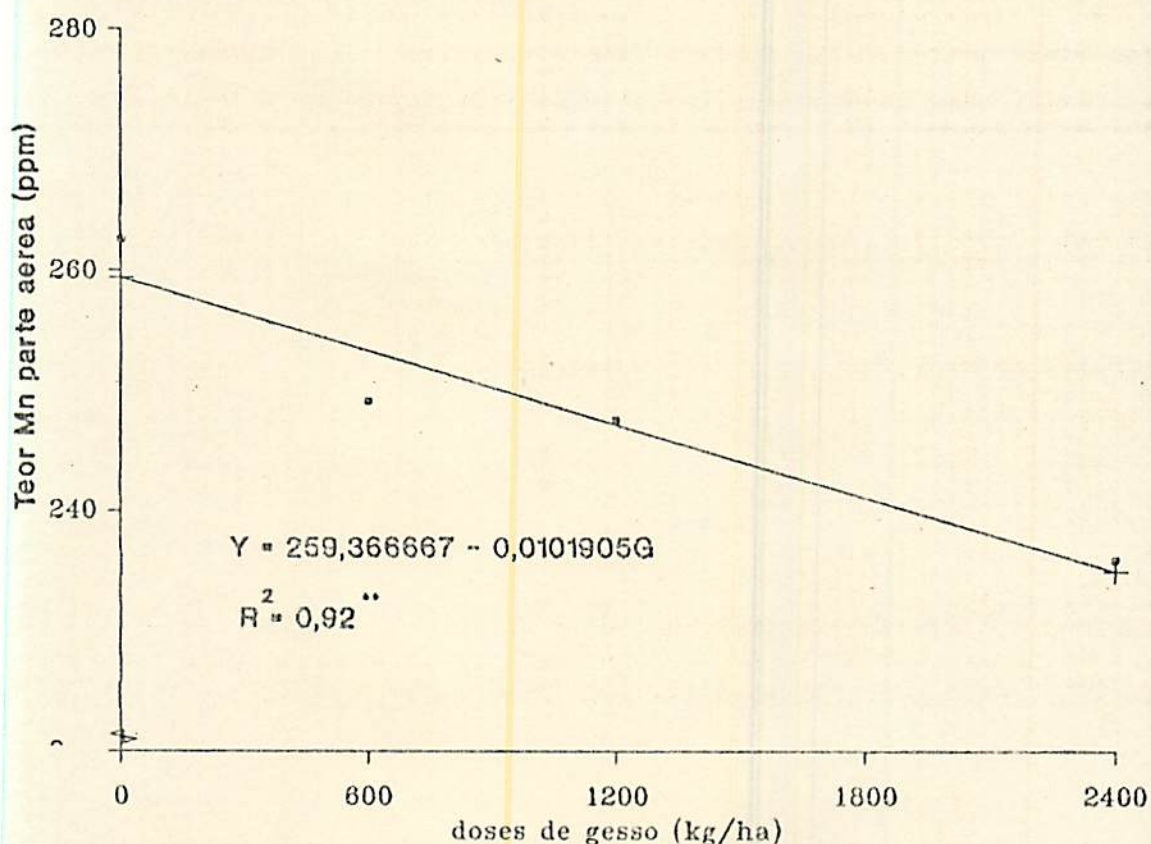


Fig. 7. Teores de Mn em função de doses de gesso, cultivares Inca e MG2.

4.2.7. Ferro

Houve efeito significativo de cultivar, gesso, calagem e da interação gesso x calagem nos teores de Fe da parte aérea, Quadro 4. Embora não fosse expressivo a cultivar MG2 apresentou maiores teores médios de Fe em relação a Inca, 446 e 432 ppm respectivamente, na ausência de calagem e gesso. O efeito da calagem é semelhante ao relatado anteriormente para Mn, ou seja, em condições de anaerobiose o processo de redução é favorecido, isto é, o Fe^{3+} passa para Fe^{2+} , forma mais absorvida pela planta,

PONNAMPERUMA (1972). Desta reação de redução, e também de outras que ocorre no solo, é evidente o envolvimento do consumo de H^+ . Isto significa aumento na concentração de OH^- e, conseqüentemente do pH. A interação gesso x calagem, Fig. 8, mostra o efeito do gesso na redução do teor de Fe, promovido pelo aumento nas doses de gesso. Os menores teores de Fe corresponderam às maiores doses de gesso, sendo que esta redução foi mais acentuada quando o gesso foi associado ao calcário. A maior produtividade do arroz foi obtida com a dose estimada de 1374Kg/ha de gesso, associado ao calcário, Fig. 4, e com esta mesma dose o teor de Fe na parte aérea foi estimado em 72ppm, Fig. 8.

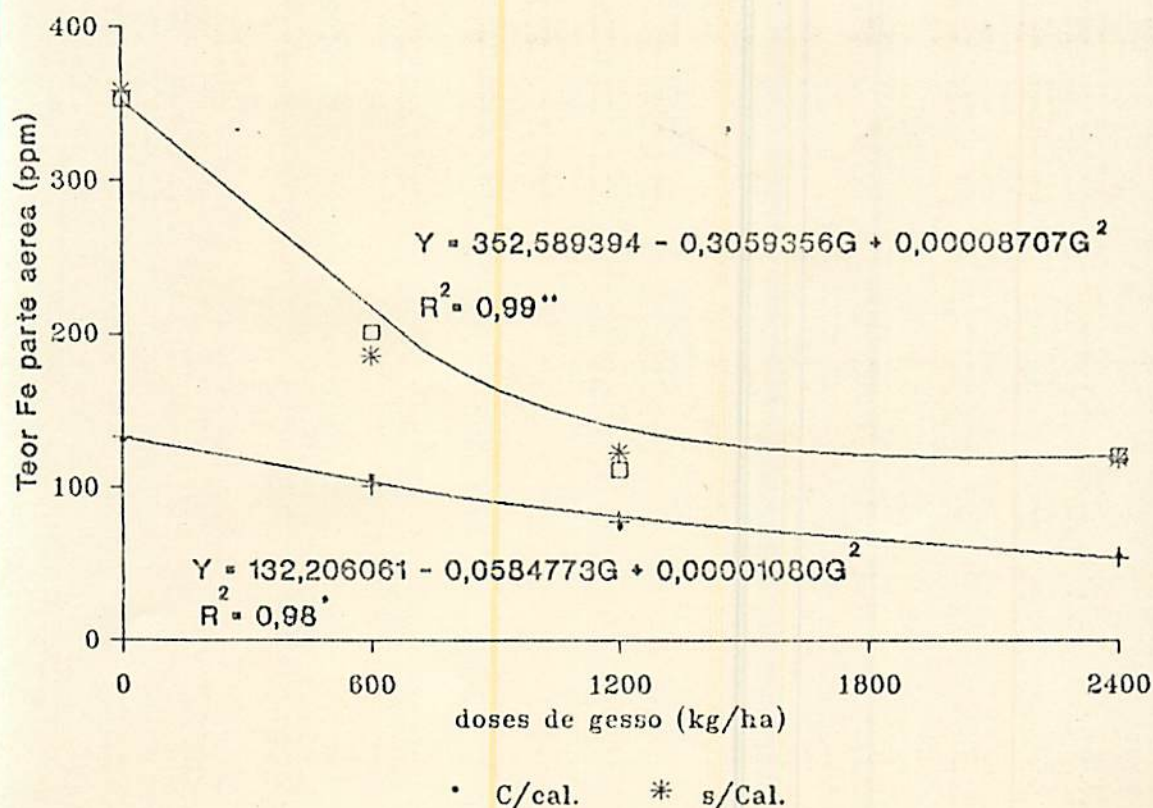


Fig. 8. Teores de Fe em função de doses de gesso e de calcário, cultivares Inca e MG2.

4.2.8. Potássio

O efeito dos tratamentos nos teores de K, na parte aérea do arroz, é mostrado no Quadro 4. Observa-se que a aplicação de gesso e do calcário afetaram de maneira significativa, os teores de K na parte aérea. O maior teor de K foi obtido no tratamento sem calagem e dose zero de gesso (2,25%), Fig. 9. Verifica-se que houve redução dos teores de K com o aumento das doses de gesso, devido ao aumento dos teores de Ca. Em geral - altas correlações negativas tem sido estabelecidas entre concentração de K, Ca e Mg na folhas, ARNON (1975).

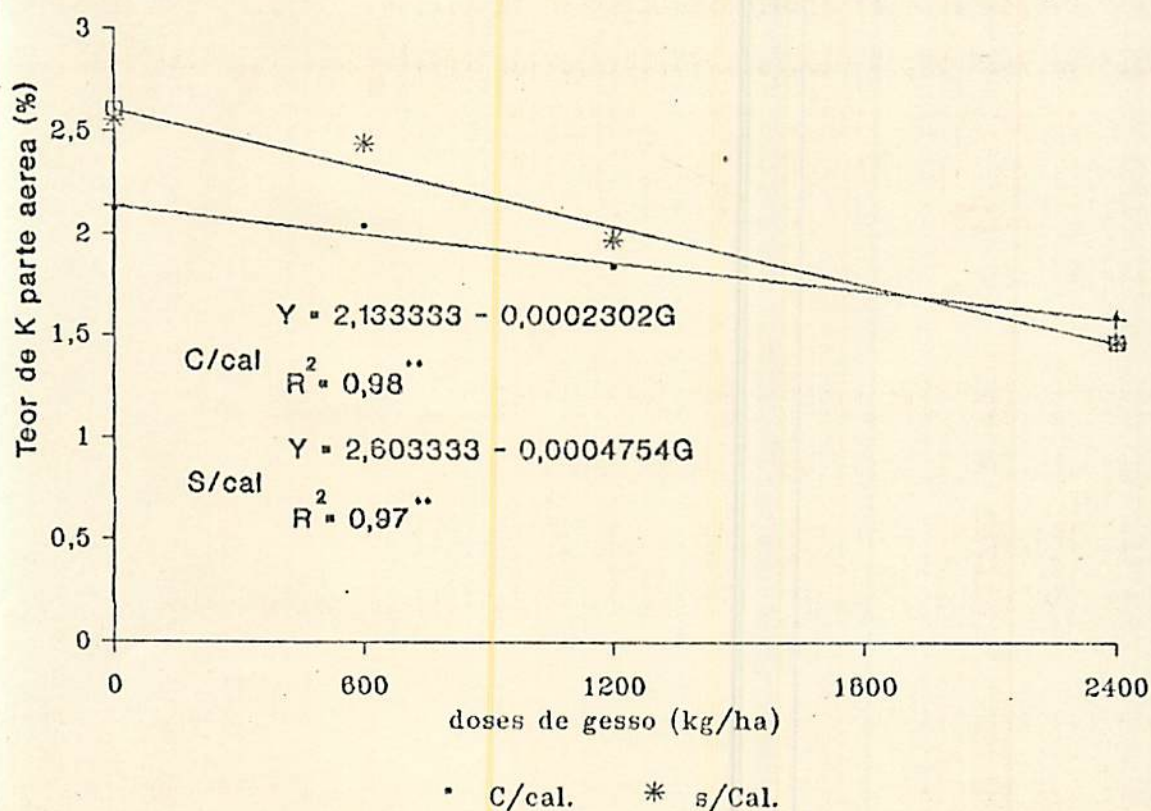


Fig. 9. Teores de potássio em função de doses de gesso e de calcário, cultivares Inca e MG2

4.2.9. Cobre

De acordo com Quadro 4, houve efeito significativo apenas para dose de calcário, evidenciando maiores teores de Cu para o tratamento sem calagem, 16ppm e menores teores para o tratamento com calagem, 6,5ppm. Embora não apresentasse respostas significativas, as doses de gesso reduziram os teores de Cu na parte aérea do arroz, entretanto os referidos teores estão acima dos níveis críticos de deficiência (<4ppm) citadas para a cultura do arroz, FAGERIA (1984). A redução pode ser explicada pela elevação do pH, pela inundação do solo, PONNAMPERUMA (1972) e ainda pela formação de complexos organometálicos na presença de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, MORTENSEN (1963); BLOMFIELD et alii (1976) e CLINE et alii (1983). A redução do sulfato a sulfeto, em solos inundados também pode provocar redução na disponibilidade de Cu formando sulfeto de Cu, FERREIRA & CRUZ (1991).

4.3. Características químicas do solo.

4.3.1. Cálcio

A análise de variância relativa aos teores de Ca no solo, Quadro 5, mostra efeito significativo do gesso, calcário, profundidade e das interações, gesso x calagem e profundidade x gesso, Prof. x calagem, Prof. x gesso e Prof. x Calagem x gesso.

O aumento nas concentrações de Ca trocável nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40cm, Fig. 10 e 11, evidencia o movimento de Ca em profundidade com o aumento das doses de gesso. Nas profundidades estudadas os teores de Ca se mantiveram em níveis de baixo a médio, segundo COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (1989).

O enriquecimento das camadas subsuperficiais pela presença do Ca devido a adição de gesso ao solo, também foi observado por PAVAN et alii (1984) e DAL BÔ et alii (1986). Ressalta-se que, nos tratamentos com calagem associada ao gesso, houve aumento dos teores de Ca trocável, Fig. 10 e 11, comprovando-se a lixiviação de Ca para as camadas subsuperficiais. Para as doses mais elevadas de gesso, observa-se os maiores teores de Ca trocável e de $S-SO_4$. RAIJ (1988) recomenda o uso de doses elevadas de gesso, quando o objetivo for a melhoria do ambiente para o aprofundamento do sistema radicular em subsuperfície. Por outro lado QUAGGIO et alii (1982), SILVA (1990), relatam alterações no desequilíbrio nutricional da cultura do amendoim e algodoeiro, respectivamente, devido a adição excessiva de Ca e $S-SO_4$, na forma de gesso.

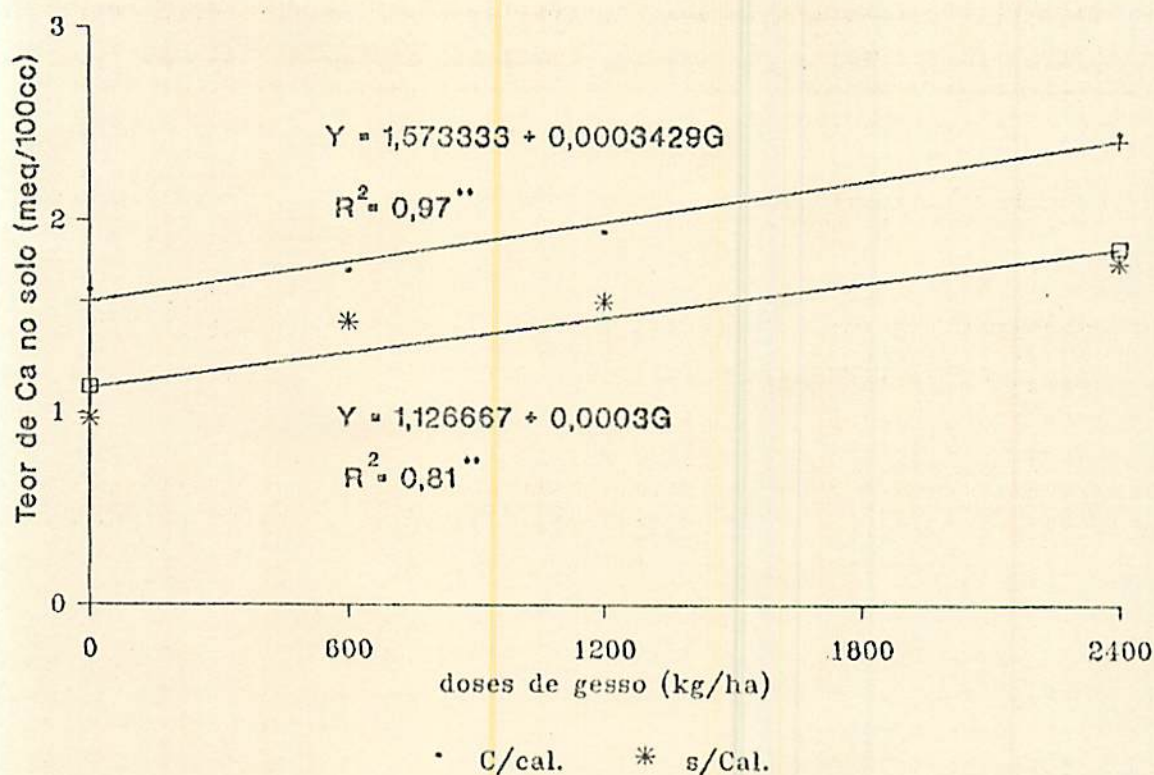


Fig. 10. Teores de Ca em função de doses de gesso e de calcário, na profundidade de 0 - 20cm.

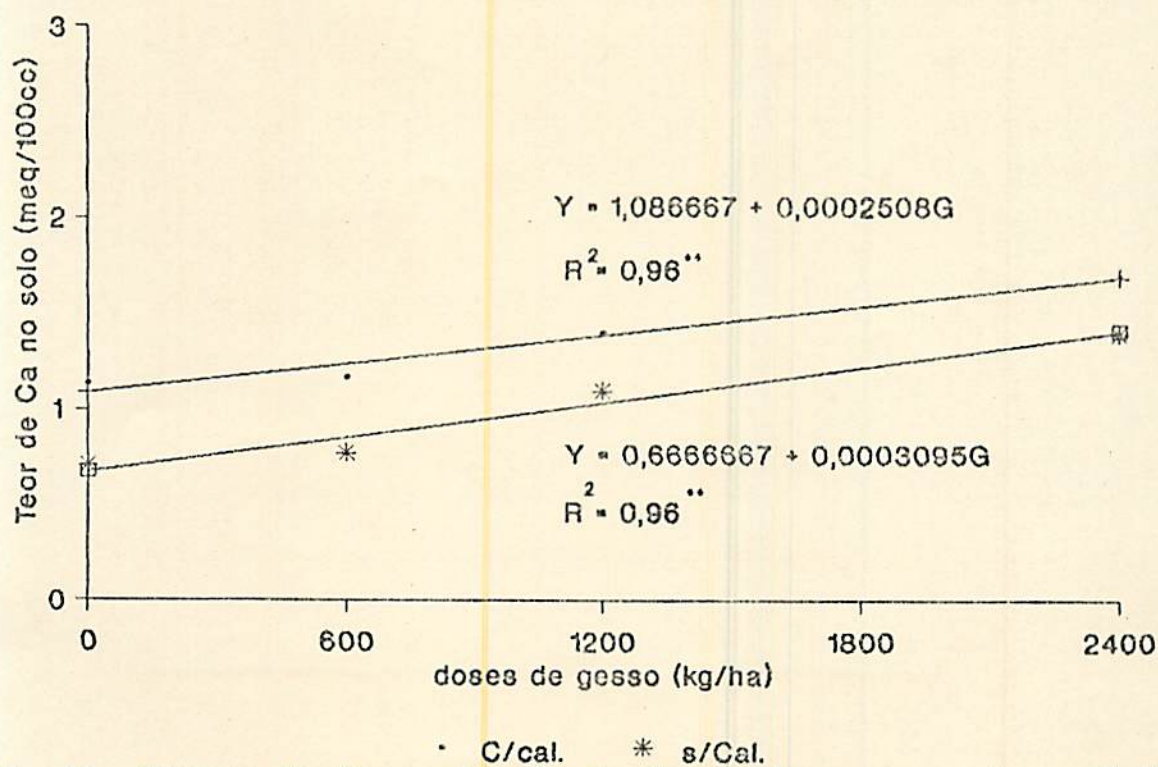


Fig. 11. Teores de Ca em função de doses de gesso e de calcário, na profundidade de 20 - 40cm.

4.3.2. Saturação de bases (V%).

Os dados relativos à saturação de bases (V%), Quadro 5, mostram o efeito significativo do gesso, da calagem, da profundidade e das interações gesso x calagem e profundidade x calagem, sobre o índice de saturação de bases (V%).

Observa-se pela Fig. 12, que a aplicação de doses crescentes de gesso agrícola aumentaram linearmente a saturação de bases. A adição do gesso associado ao calcário proporcionou índices mais elevados, sendo que a maior dose de gesso associada ao calcário, propiciou índices superiores em relação à utilização do gesso sem calcário. A aplicação do calcário aumentou a saturação por bases nas profundidades de solo de 0 a 20 e 20 a 40cm, e a associação gesso mais calcário aumentou a saturação por bases de maneira mais uniforme no perfil do solo, o que beneficia o desenvolvimento do sistema radicular uma vez que esta alteração no perfil, favorece a neutralização do efeito depressivo do alumínio sobre o crescimento e desempenho das funções radiculares.

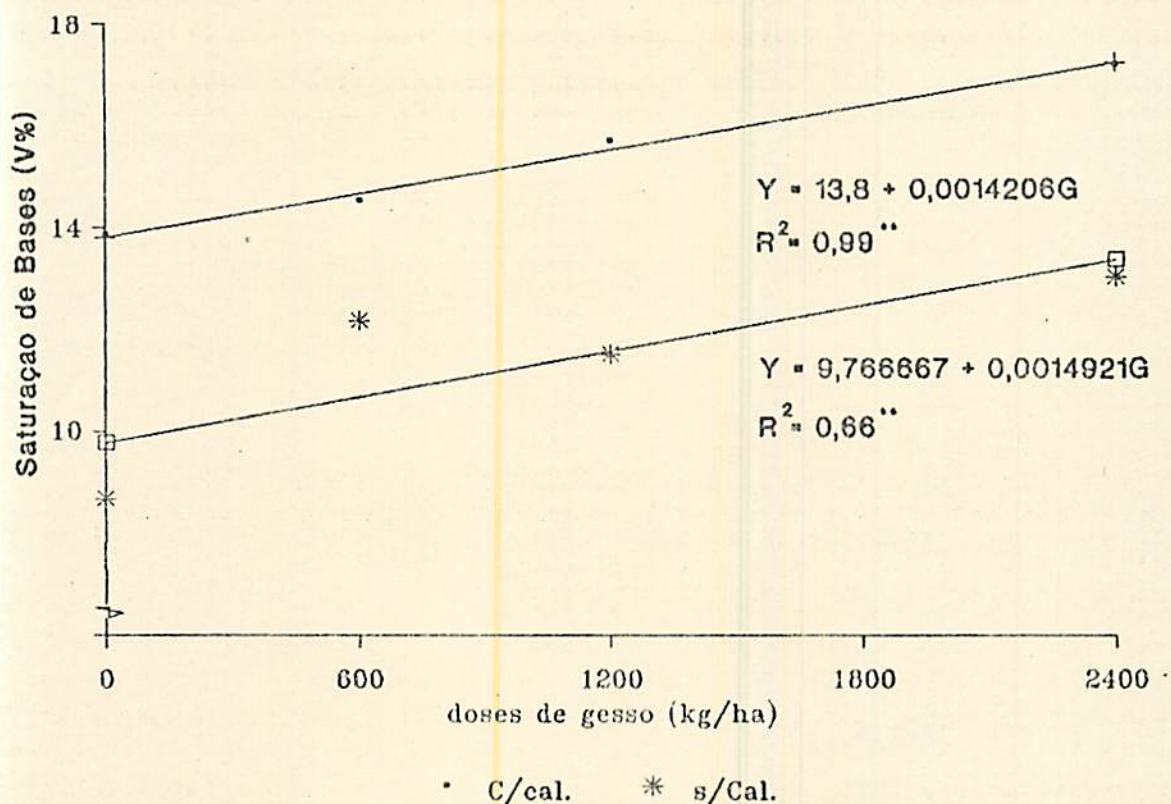


Fig. 12. Valores de saturação por bases (V%) em função de doses de gesso e calcário.

4.3.3. Magnésio

Os dados relativos aos teores de Mg no solo, Quadro 6, mostram efeitos significativos do gesso, calagem, profundidade e a interação calagem x profundidade.

Houve aumento da concentração de Mg em função das doses de gesso, Fig. 13, sendo que os maiores teores coincidem com a maior dose de gesso aplicada.

Observou-se que as doses de gesso promoveram um aumento nos teores de Mg na camada de 20 a 40cm, evidenciando lixiviação ao longo da profundidade mencionada. Os tratamentos que receberam

calagem em associação com as doses de gesso, tiveram um aumento acentuado dos teores de Mg, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40cm, ou seja, o teor de Mg do calcário foi o principal responsável por este acréscimo.

REEVE & SUMNER (1972); RITCHEY et alii (1981); QUAGGIO et alii (1982) e PAVAN et alii (1984) relatam efeitos da lixiviação de Ca, Mg e K, recomendam o uso associado do calcário dolomítico ao gesso, para reduzir eventuais perdas de K e Mg. A intensidade de tais efeitos, dependem da concentração dos teores de Ca, Mg e K no solo, e do maior ou menor uso do calcário dolomítico e das doses de gesso. A prática da calagem, gera na superfície do solo, cargas negativas que podem ser ocupadas pelo K e Mg, diminuindo ou impedindo a lixiviação destes cátions.

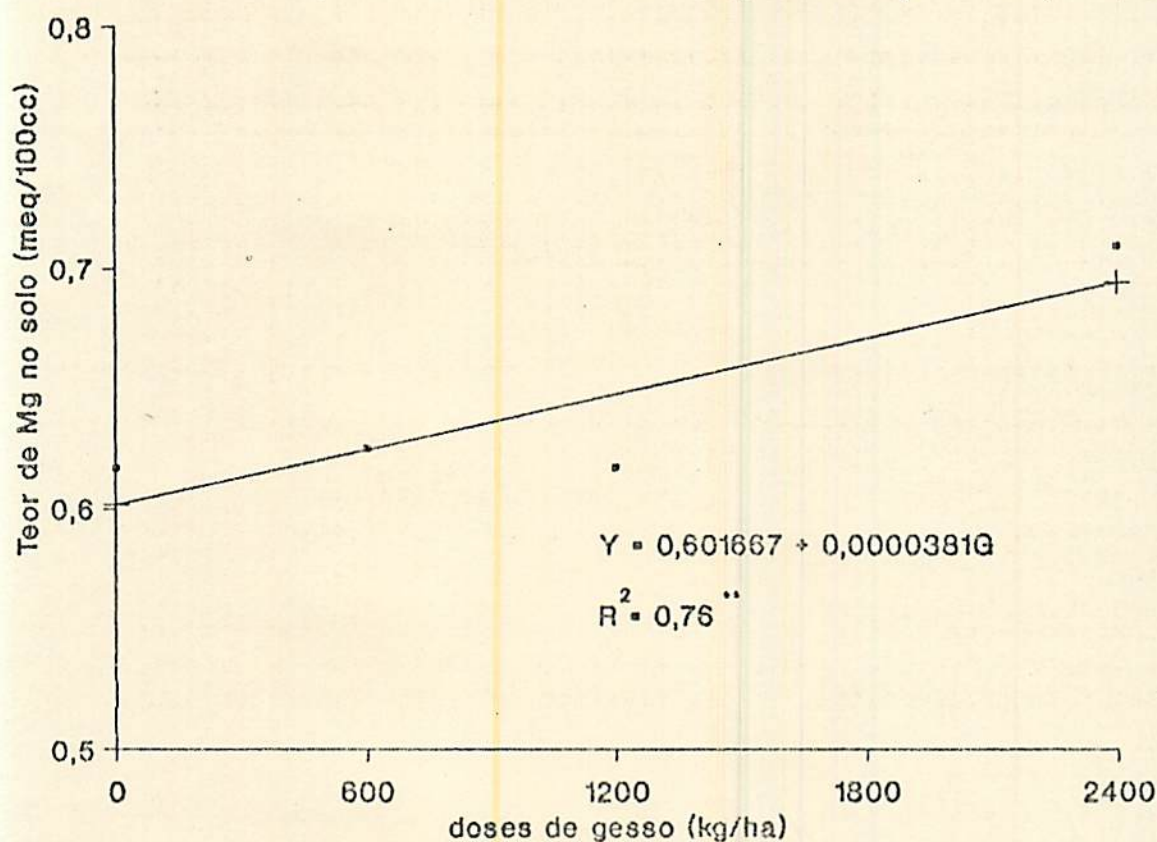


Fig. 13. Teores de Mg em função de doses de gesso, até profundidade de 40cm.

4.3.4. Alumínio.

Observa-se efeitos significativos do gesso, calagem e da profundidade sobre os teores de Al no solo, Quadro 6. Os efeitos benéficos da calagem na redução do Al trocável, principal componente da acidez, além do fornecimento de Ca e Mg nas camadas subsuperficiais são conhecidos e citados na literatura, REEVE & SUMNER (1970), MALAVOLTA (1980). Segundo RAIJ (1981) com a diminuição do pH, eleva-se consideravelmente a saturação de Al,

observando-se uma queda no rendimento das culturas.

A inundação equivale, temporariamente, a uma operação de calagem, considerando a elevação do pH e da disponibilidade de Ca, Mg, e a maioria dos nutrientes, nestas condições a toxicidade do Al é neutralizada rapidamente pela elevação do pH, SANCHEZ (1981). Observa-se pela Fig. 14 que ocorreu uma redução dos teores de Al trocável, pelo aumento das doses de gesso, sendo mais pronunciada na camada de 0 - 20cm. A redução de Al trocável foi mais acentuada na combinação das maiores doses de gesso com a calagem, embora estes teores de Al ainda sejam considerados em níveis altos pela C.F.S.E.M.G. (1989). o efeito do alto teor de matéria orgânica (8%) na complexação de cátions metálicos neste solo, com 53% de argila, mais o efeito de diluição do Al no processo de irrigação por inundação, explicam em grande parte, a ausência dos efeitos nocivos deste elemento, quando em excesso na cultura do arroz.

A aplicação do gesso promove o aumento de Ca trocável e em solução, a diminuição de Al trocável, e os efeitos relativos destas alterações químicas, são difíceis de se separar, SUMNER (1992). Diversos autores constataram a eficiência do gesso na redução do Al trocável, REEVE & SUMNER (1972); RITCHEY et alii (1980); PAVAN et alii (1984); GUILHERME (1986); GUIMARÃES (1986); OLIVEIRA et alii (1986); RAIJ (1988) e CORREA (1992).

A formação do par iônico $AlSO_4$ não deve ser considerada como neutralização do Al. Trata-se apenas de uma associação de íons que acontece em solução, ocorrendo cancelamento mútuo de cargas elétricas, mas não redução do Al total em solução, embora ocorra diminuição da atividade do Al, RAIJ (1992). Portanto com o

aumento das bases lixiviadas juntamente com o $S-SO_4^{2-}$, há uma redução significativa da saturação de Al no perfil. Existem várias hipóteses sobre os mecanismos envolvidos na redução do Al trocável no solo através do gesso. Uma possibilidade seria a liberação de OH^- pelo SO_4^{2-} através de troca de ligantes, com a formação de formas progressivamente hidroxiladas, iniciando com $AlOH^{2+}$ RAIJ (1992), o que foi chamado de "auto calagem", por REEVE & SUMNER (1972). Também foi sugerido a precipitação com formação de compostos minerais, RAIJ (1992).

Outra alternativa seria a lixiviação de Al acompanhando o radical SO_4^{2-} liberado pelo gesso, ou da própria mineralização do S do solo. Isto favorece a formação dos pares iônicos ou complexos com o $AlSO_4^+$ SINGH (1982) ou de fluoreto de alumínio, originado do flúor contido na composição do gesso OATES & CALDWELL (1985), entretanto, ALVA et alii (1990) argumentam que embora ocorra redução variável de Al com gesso, ainda não é possível explicar totalmente os mecanismos envolvidos.

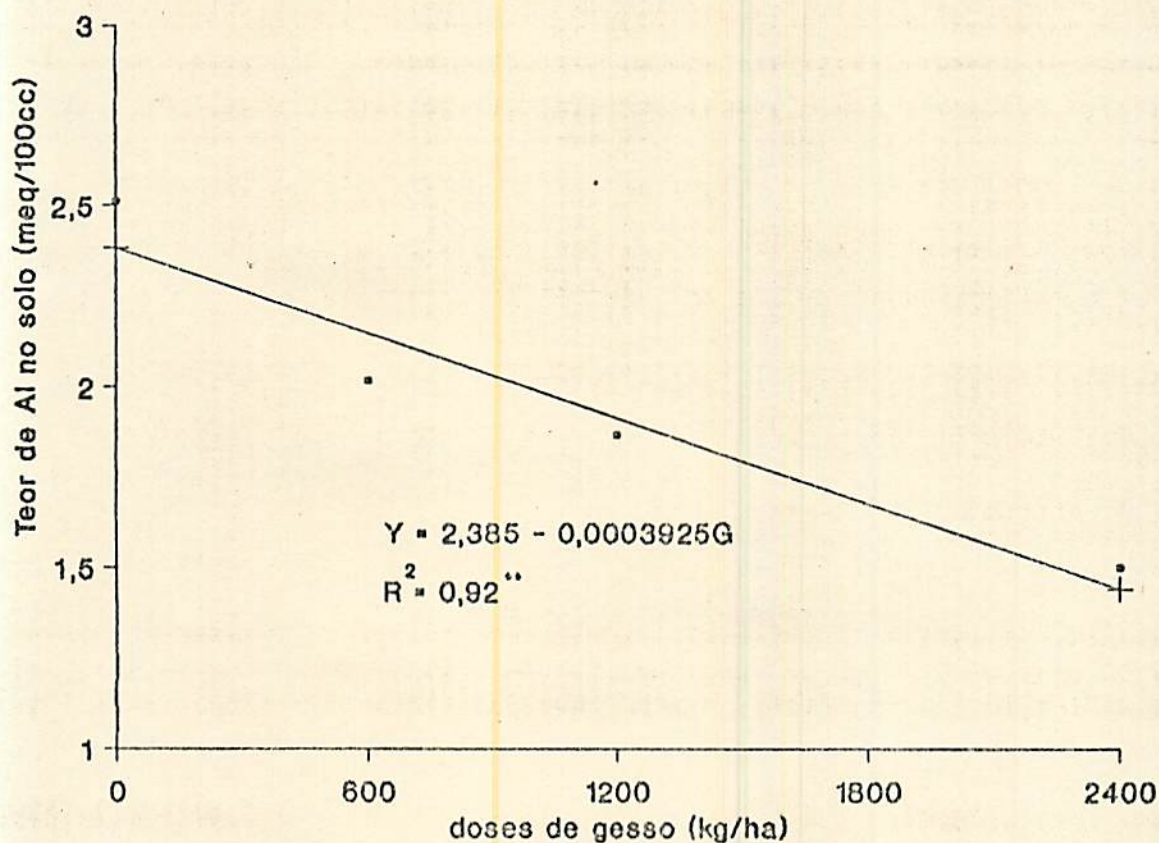


Fig. 14. Teores de Al trocável em função de doses de gesso, até a profundidade de 40cm.

4.3.5. Enxofre.

Analisando o Quadro 6 observa-se efeitos significativos do gesso e da profundidade sobre os teores de $S-SO_4^{2-}$.

Os teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo tiveram expressivos acréscimos com o aumento das doses de gesso aplicadas, Fig. 15, as quais proporcionaram uma maior distribuição de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do solo, com aumentos lineares até 40cm de profundidade. Segundo RAIJ (1988) as cargas elétricas do solo tem um efeito importante na lixiviação de Ca^{2+} e SO_4^{2-} , sendo que o Ca é mais retido nos

colóides do solo em valores de pH mais alto e o SO_4^{2-} a valores mais baixos de pH. Segundo PAVAN (1983) a formação do par iônico CaSO_4^0 que é solúvel e não reage com as cargas elétricas dos colóides do solo, possibilita maior movimentação de Ca^{2+} e SO_4^{2-} para as camadas subsuperficiais. Em trabalho similar PINTO (1989) observou menor retenção de SO_4^{2-} na camada arável do solo, onde predominam cargas negativas e maior pH. A diminuição do número de cargas positivas, provocadas pelo efeito do calcário diminui a adsorção do sulfato na camada superficial, o que facilita, conseqüentemente, sua movimentação e acúmulo nas camadas inferiores.

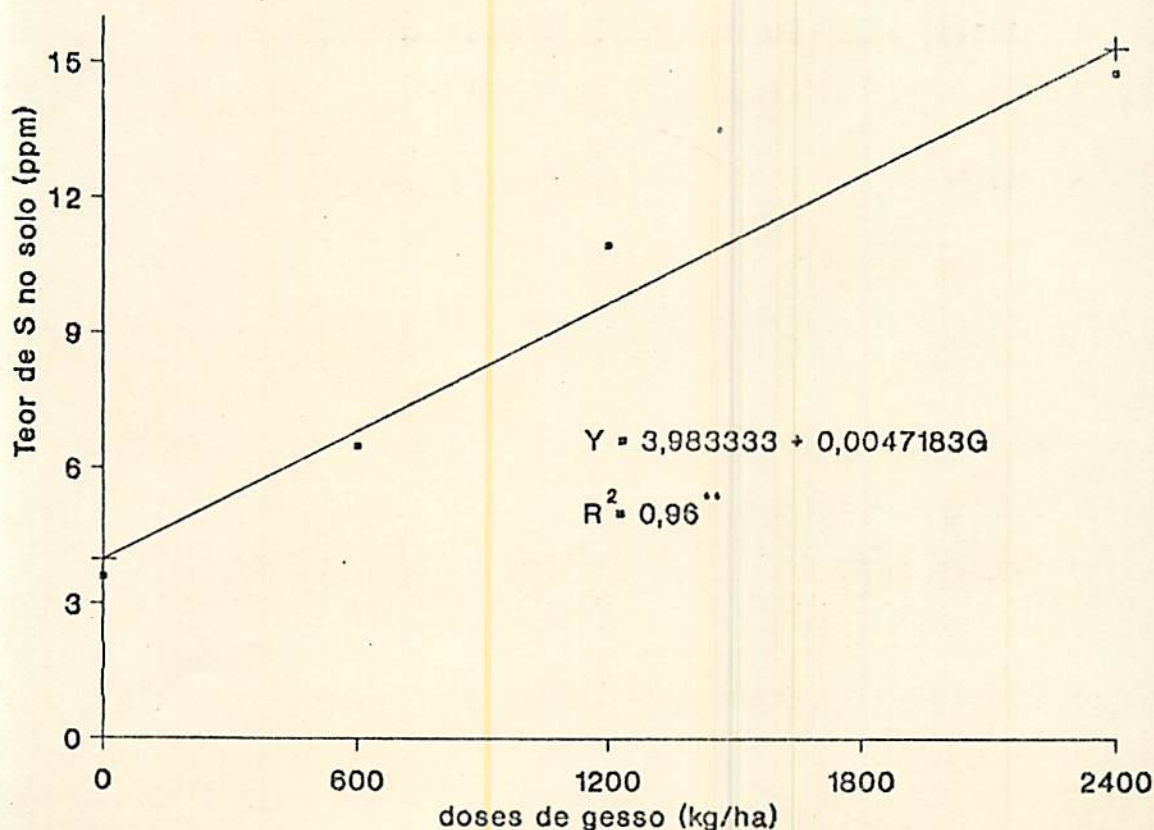


Fig. 15. Teores de S- SO_4^{2-} em função de doses de gesso, até profundidade de 40 cm.

4.3.6. Potássio.

Houve efeito significativo do gesso, profundidade e das interações profundidade x gesso, profundidade x calagem e profundidade x gesso x calagem sobre os teores de K (Quadro 6).

Verifica-se uma diminuição dos teores de K no solo com o aumento das doses de gesso, na profundidade de 0 a 20cm, Fig. 16. Admite-se a reação entre o radical SO_4^{2-} do gesso, com K no solo, formando K_2SO_4 que lixiviaria para camadas subsuperficiais, aumentando o teor de K na profundidade de 20 a 40cm, conforme pode ser observado na Fig. 17. Os aumentos expressivos de K na camada de 20 a 40cm evidenciam a sua movimentação no perfil do solo, e estão de acordo com resultados obtidos por outros pesquisadores, REEVE & SUMNER (1972); RITCHEY et alii (1981) e PAVAN et alii (1984). A lixiviação de K seria menor quando na presença de maiores teores de Ca e Mg, RAIJ & CAMARGO (1973). Portanto a calagem com a adição de gesso, elevou os teores de Ca e Mg do solo, e contribuiu para menores perdas de K, conforme pode ser visualizado pelas Fig. 16 e 17.

QUAGGIO et alii (1982) constataram perdas menores de K em presença de doses mais elevadas de calcário. Por outro lado a adição de sulfato e outros ânions no solo, sempre favorece a lixiviação de qualquer cátion, RAIJ (1992).

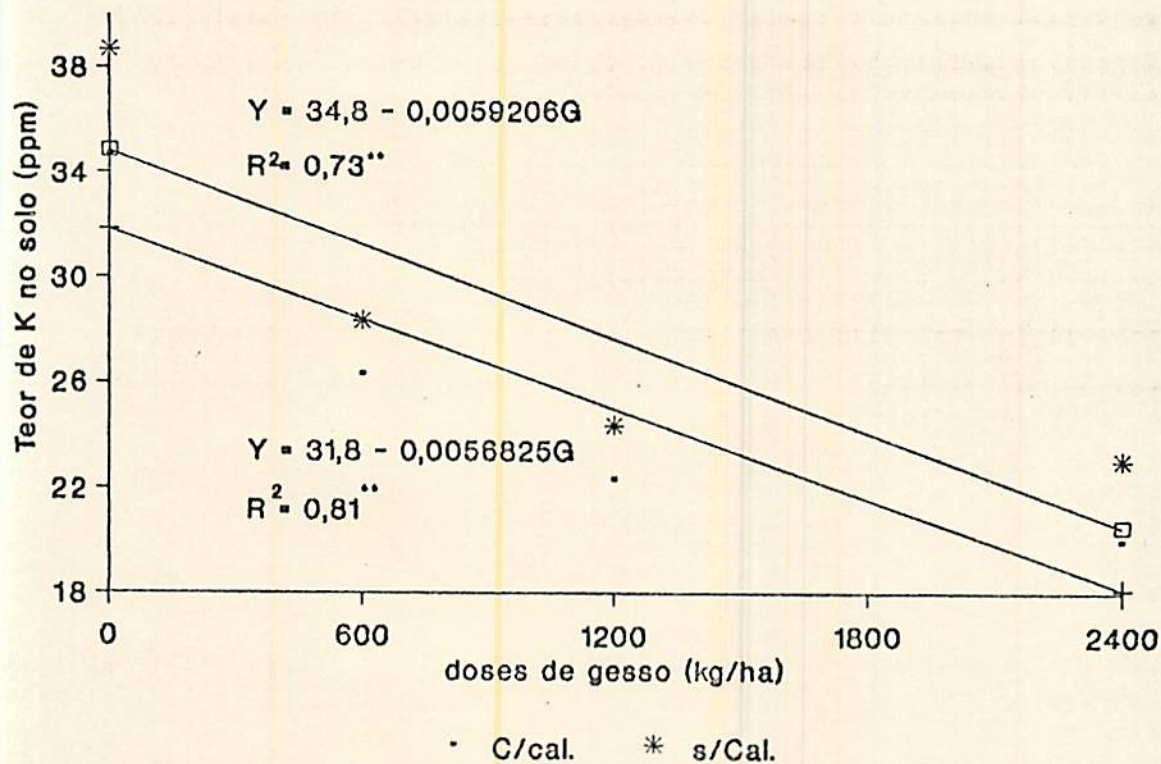


Fig. 16. Teores de K, em função de doses de gesso e calcário, profundidade 0 a 20cm.

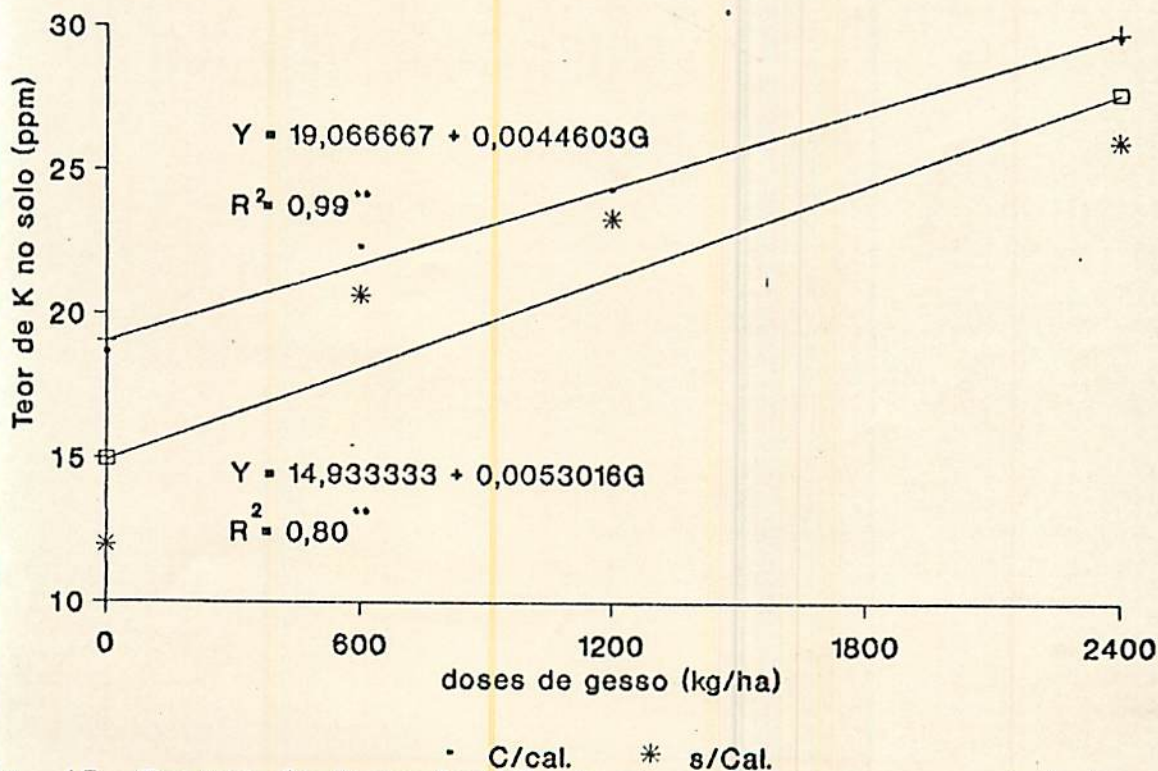


Fig. 17. Teores de K em função de doses de gesso e calcário, profundidade 20 a 40cm.

4.3.7.Ferro.

Houve efeito significativo do gesso, calagem profundidade e das interações gesso x calagem e profundidade x gesso sobre os teores de ferro no solo, Quadro 5.

Os teores de Fe^{2+} da solução do solo diminuíram com o aumento das doses de gesso, sendo que as maiores doses de gesso, corresponderam aos menores teores de Fe^{2+} na solução. Acredita-se que a redução do sulfato produzindo gás sulfídrico (H_2S) induziu a formação de sulfeto de ferro (FeS) insolúvel, devido à alta concentração de Fe^{2+} na solução, o que estaria de acordo com MALAVOLTA (1980).

NOGUEIRA et alii (1991) utilizando gesso agrícola na cultura do arroz irrigado, confirma sua eficiência na redução dos teores de Fe^{2+} e no aumento de produtividade do arroz, em solos de várzea irrigado por inundação. Entretanto BASTOS (1992) estudando o comportamento do arroz na presença de cloreto férrico ($FeCl_3$), doses de calcário e gesso em casa de vegetação, visando induzir e controlar toxidez de ferro em arroz irrigado, não encontrou correlação entre teores de Fe^{2+} disponível no solo e sua concentração na palha, em níveis considerados tóxicos para as plantas.

A redução dos teores de Fe^{2+} foi mais acentuada na combinação das maiores doses de gesso com a calagem, Fig. 18. Vários autores citam a calagem como o meio eficiente de controle de toxidez de ferro, RAMOS et alii (1981); BARBOSA FILHO et alii (1983); FREIRE et alii (1985). O gesso reduziu o teor relativo de Fe^{2+} no solo e na planta, mas mesmo no tratamento testemunha (sem

gesso e sem calagem) a produtividade de ambas cultivares foi muito semelhante (Fig. 3). No entanto houve resposta à calagem na presença de gesso independente da cultivar (Fig. 4), o que permite inferir o bom estado nutricional da planta, devido ao suprimento de Ca e Mg pela calagem, nas condições de redução, o que estaria de acordo com FAGERIA et alii (1981); FISCHER et alii (1990) e PAULA et alii (1990). Determinou-se o teor médio de ferrihidrita ($\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) na fração argila, segundo metodologia de SCHWERTMANN (1964), que foi de 2,34%. Admite-se que diferentes formas de ferrihidrita e de outros minerais ferrosos, estariam em condições de solo inundado, contribuindo para manter alto teor de Fe^{2+} na solução do solo. BACHA & HOSSNER (1977) em estudo visando determinar a natureza química e mineralógica da camada de óxido de ferro, depositada nas raízes do arroz, concluíram que o mineral de ferro, tratava-se da lepidocrocita (αFeOOH).

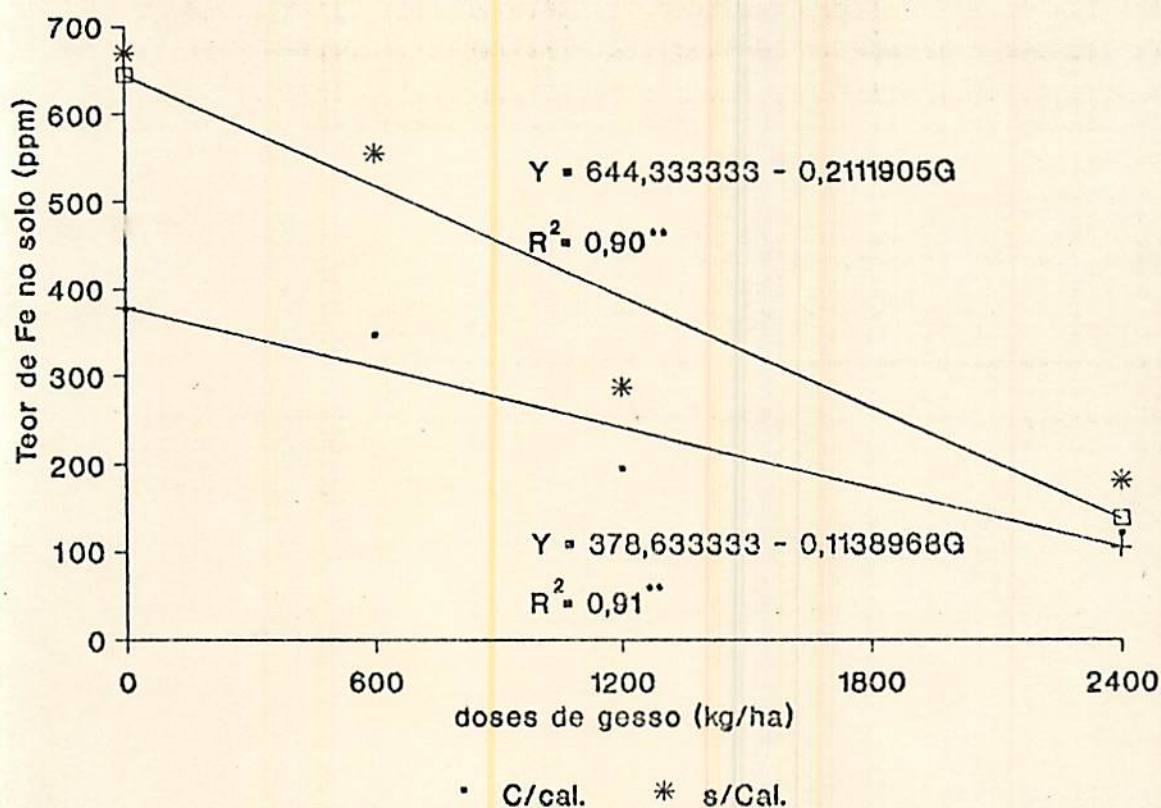


Fig. 18. Teores de Fe no solo, em função de doses de gesso e calcário, até profundidade de 40 cm.

4.3.8. Manganês.

A análise de variância mostra efeitos significativos do gesso, calagem, profundidade, bem como das interações profundidade x gesso e profundidade x calagem, Quadro 5.

Os teores de Mn^{2+} no solo diminuíram com o aumento sucessivo das doses de gesso, Fig. 19. A formação de ácido sulfídrico (H_2S), em condições de solo saturado com água, contendo metais em formas reduzidas, principalmente Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{+} , favorece a

ocorrência de compostos insolúveis, de baixa ou nenhuma disponibilidade para as plantas, CONNELL & PATRICK JR. (1969). A precipitação de certos íons metálicos na forma de sulfetos, em solos sob inundação, tem sido mencionada como um importante mecanismo na prevenção de possíveis níveis tóxicos, tanto do íon S_2^- como dos íons metálicos, GUILHERME (1990). A aplicação de calcário eleva o pH, fornece Ca e Mg e ainda diminui a disponibilidade de Mn^{2+} e Fe^{2+} outros cátions que, em condições de solo inundado poderiam atingir níveis tóxicos para as plantas, FREIRE (1985) e PAULA et alii (1990).

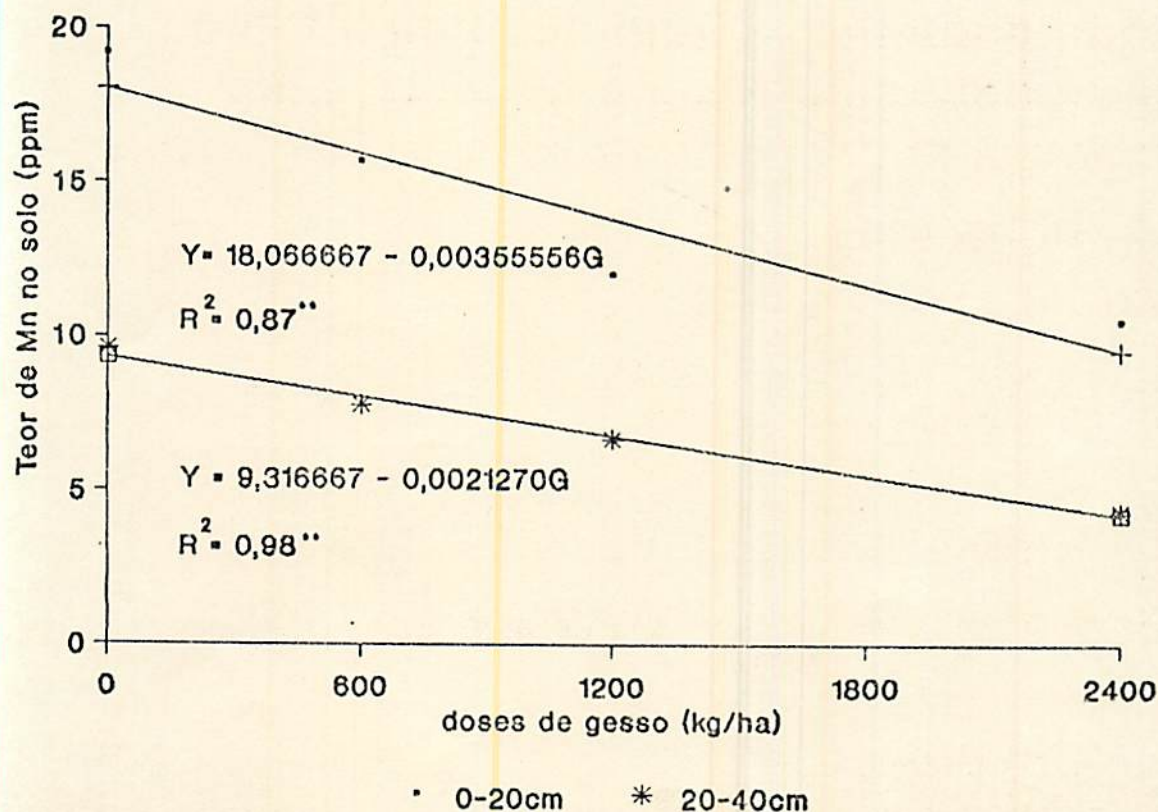


Fig. 19. Teores de Mn no solo, em função de doses de gesso profundidade 0 a 20 e 20 a 40cm.

4.3.9. pH em água.

Os resultados da análise de variância podem ser observados no Quadro 5. Houve efeito significativo apenas para a calagem.

O efeito da calagem promovendo o aumento no pH, é bem conhecido, REEVE & SUMNER (1970); MALAVOLTA (1980) e LOPES (1984). A amplitude de pH na presença e na ausência da calagem foi apenas de 0,2 unidades (5,0 e 4,8). Esta baixa amplitude pode ser explicada pelo potencial de tamponamento do solo aluvial, que continha alto teor de matéria orgânica e alto teor de argila, o que está de acordo com SANCHEZ (1981).

A aplicação de gesso não alterou valores de pH de modo significativo, cujo valor médio foi de 4,9 independente de extratificação em profundidade até o máximo de 40cm. Entretanto resultados de experimento utilizando gesso, mostram ligeiras alterações acima ou abaixo nos valores de pH, com adição de gesso.

PAVAN et alii (1984); ALVA et alii (1990) e SILVA (1990) observaram pequena diminuição do pH na camada superficial do solo, atribuído ao efeito do gesso.

A maioria dos trabalhos, no entanto, relata que o pH pode sofrer um ligeiro abaixamento ou permanecer inalterado com a aplicação de gesso, PAVAN et alii (1984); MALAVOLTA (1992) o que está de acordo com o presente trabalho.

5. CONCLUSÕES

1. As doses de gesso aumentaram a produção e os teores foliares do Ca e S e reduziram os teores de Mg, P, Zn, Mn, Fe, K e Cu. A produção máxima foi obtida com a dose estimada de 1.374 kg/ha de gesso na presença da calagem.
2. A associação gesso e calcário reduziu os teores foliares de Fe^{2+} e Mn^{2+} , e a maior produção de grãos, coincide com os teores de Fe^{2+} e Mn^{2+} considerados adequados .
3. O gesso promoveu a lixiviação de Ca, Mg, S e K para as camadas subsuperficiais, até a profundidade de 40 cm. A mistura gesso e calcário reduziu a lixiviação do Mg e K e aumentou os teores de Ca, Mg e Saturação de bases ao longo do perfil.
4. As doses de gesso reduziram os teores de Al, Fe e Mn, sendo mais pronunciado em presença do calcário. O pH permaneceu inalterado na presença do gesso.

6. RESUMO

Este trabalho teve por objetivos, avaliar os efeitos do gesso e do calcário nas características químicas do solo, na produção e nos teores de nutrientes da parte aérea da cultura do arroz irrigado.

O experimento foi conduzido na Faz. Experimental da EPAMIG no município de Cambuquira, Minas Gerais, em Solo Aluvial (Entisol) com alto teor de Ferro. Como tratamento, foram utilizadas 4 doses de gesso agrícola, 0; 600; 1200 e 2400kg/ha, 2 doses de calcário, 0; 2,7t/ha, calculado pelo método de saturação de bases, 2 cultivares de arroz, Inca e MG2. As características químicas do solo, foram analisadas em 2 profundidades de solo, 0 a 20cm e 20 a 40cm. Determinou-se no solo os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , SO_4^{2-} , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , pH e V% e os teores na parte aérea de Ca, SO_4^{2-} , P, Mg, K, Zn, Mn, Fe e Cu.

A aplicação do gesso agrícola no solo aumentou os teores foliares de Ca e S e reduziu os teores de Mg, P, Zn, Fe, Mn, K e Cu. O gesso aumentou a produção do arroz, promoveu aumento linear da saturação de bases, reduziu os teores de alumínio trocável no solo e promoveu lixiviação de Ca, Mg e SO_4^{2-} e K para as camadas até 40cm de profundidade, sendo que na presença da calagem houve diminuição de lixiviação do Mg e K.

Os valores de pH permaneceram inalterados, independente das doses de gesso aplicadas.

Foi realizado também um estudo mineralógico da fração argila, com o objetivo de estimar o teor de ferrihidrita no solo, que foi de 2,43%, na camada de 0 a 20cm.

Os teores disponíveis de Fe^{2+} e Mn^{2+} no solo e na planta, diminuíram com as doses de gesso, e a maior produção foi obtida com a dose estimada de 1374kg/ha de gesso, na presença de calagem, com níveis estimados de Fe e Mn na planta considerados adequados (72 e 245 ppm) respectivamente.

7. SUMMARY

One study was made to evaluate gypsum and liming effects on soil chemical characteristics, grain yield and nutrient contents of aerial parts of irrigated rice (Oryza sativa L.).

The experiment was established in EPAMIG (Livestock research institution) experimental station at Cambuquira, MG, in one alluvial soil (Entisols) with high iron content. The treatments used were four gypsum rates, (0, 600, 1200, and 2400 kg./ha), two liming rates (0 and 2.7 tons/ha), computed by basis saturation (V%) method, and two rice varieties (Inca and MG2). Soil chemical characteristics were determined at two soil layers (0 to 20 and 20 to 40 cm). Calcium, magnesium, aluminum, sulfur, potassium, iron, manganese contents, V% and soil pH were determined. Calcium, sulfur, phosphorus, magnesium, potassium, zinc, manganese, iron and copper contents were determined at the aerial parts. Gypsum increased calcium and sulfur content, and reduced the magnesium, phosphorus, zinc, iron, manganese, potassium, and copper in the leaf, also increased rice grain yield. There was a positive and linear effect with the basis saturation, soil aluminum contents were reduced and calcium, magnesium, sulfur and potassium were leached until 40 cm depth. Magnesium and potassium were less leached in the presence of lime. There was no change in pH at any gypsum rate applied. Mineralogical study of the clay fraction showed that ferrihydrite content was 2.43% at 0 to 20 cm layer. The iron and manganese content in the soil and plant was reduced with the gypsum rates. The greater grain yield was estimated at 1374 kg. of gypsum/ha with liming, when iron and manganese contents in plant were, (72, 245 ppm, respectively).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ABREU, C.A. de. Identificação de deficiências de macronutrientes em três solos de várzea de Minas Gerais. Lavras, ESAL, 1985. 93p. (Tese MS)
02. ALVA, A.K.; SUMNER, M.E. & MILLER, W.P. Reaction of gypsum on phosphogypsum in highly wathered acid subsoils. Soil Science Society of America Journal, Madison, 54(4):993-8, July/Aug. 1990.
03. ARNON, I. Interrelationships between potassium and other nutrients. In: ARNON, I. Mineral nutrition of maize. Bern, International Potash Institute, 1975. p.228-37.
04. BACHA, R.E. & HOSSNER, L.R. Characteristics of coatings formed on rice roots as affected by iron and manganese additions. Soil Science Society of America Journal, Madison, 41(5):931-5, 1977.

05. BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz: (sequeiro e irrigado). Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).
06. _____ ; FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo d'agua e calagem em relação à produtividade e toxidez de ferro em arroz. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 18:903-10, 1983.
07. BARDSLEY, C.E. & LANCASTER, J.D. Sulfur. In: BLACK, C.A., ed. Methods of analysis: Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt. 2, p.1102-16.
08. BASTOS, F.J. de. Efeito do ferro, gesso agrícola na produção de arroz (*Oriza sativa* L.) em Solos de Várzea inundados. Lavras, ESAL, 1992. 86p. (Tese MS).
09. BLAIR, G.J.; MANUEL, C. & MONVAT, G. Sulfur nutrition of wet land rice. IRRI Research paper series, Los Baños, 21, 1978.
10. _____ ; _____ ; PANGERANG UAMAR, A. MOMUAT, E.O. & CHRISTINE, M. Sulfur nutrition of rice. In: Survey of soils of south Sulawesi, Indonésia. Agronomy Journal, Madison, 71: 473-7, 1979.

11. BLOONFIELD, C.; KELSO, W.I. & PRUDEN, G. Reactions between metals and humified organic matter. *Journal of Soil Science*, Oxford, 27:16-31, 1976.
12. BOHN, H.; McNEAL, B.; O'CONNOR, G. *Soil chemistry*. New York, John Wiley, 1979. 329p.
13. BRANDÃO, S.S.; GALVÃO, J.D. & OLIVEIRA, L.M. Relação entre umidade dos grãos na colheita de arroz e o rendimento total de grãos inteiros no beneficiamento. *Revista Ceres*, Viçosa, 17(91):35-46, 1970.
14. BRAR, M.S. & SEKHON, G.S. Effect of iron and zinc on the availability of micronutrients under the flooded and unflooded conditions. *Journal of Indian Society of Soil Science*, New Delhi, 24(4):446-51, 1976.
15. CAMARGO, C.E. de. & ALVES, S. Adubação do trigo. III. Experiências com N, P, K e S, em solos de baixada, tipo massapê, de Monte Alegre do Sul. *Bragantia*, Campinas, 31(28): 337-47, 1972.
16. CAMARGO, C.E. de & ROCHA, T.R. Adubação do trigo IV experiências com N, P, K e S em Solos de Várzea do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 31(29):351-61, dez. 1972.

17. CAMARGO, O.A. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P da., ed. *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1991. p.242-72.
18. CLINE, R.G.; POWELL, P.E.; SZANISZLO, P.J. & REID, C.P.P. Comparison of the abilities of Hydroxamic and other natural organic acids to chelate iron and other ions in soil. *Soil Science*, Madison, 136(3):145-57, Sept. 1983.
19. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendações do uso de fertilizantes e corretivos para o Estado de Minas Gerais; 4ª aproximação*. Lavras, 1989. 159p.
20. COONNELL, W.E. & PATRICK JR., W.H. Reduction of sulfate in sulfide in waterlogged soil. *Soil Science Society of America proceedings*, Madison, 33(5):711-15, Sept./Oct. 1969
21. CORREA, J.B. *Associação calcário/gesso na melhoria das condições químicas do solo para cafeeiros (Coffea arabica, L.) em crescimento*. Lavras, ESAL, 1992. 104P. (Tese MS).
22. CURI, N. & ANDRADE, H. *Solos de várzea*. Lavras, s. ed., 1983. 12p. (mimeografado).

23. CURI, N. & ANDRADE, H. Solos de Várzea. In: _____. Clas-
sificação e Levantamento de Solos. Lavras, s. ed., 1986.
48p. (mimeografado).
24. DALBÔ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIEBAULT, J.T.L. &
NOVAIS, R.E. Efeito da acidez de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. I -
movimentação de bases no solo. Revista Brasileira de Ci-
ência do Solo, Campinas, 10(3):195-8, set./dez. 1986.
25. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional
de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento de Re-
conhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da
aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Rio de
Janeiro, 1982. 526p. (Boletim de pesquisa, 1).
26. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional
de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos
de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
27. ENGLER, R.M. & PATRICK JR. W.H. Stability of sulfides of
manganese, iron, zinc, copper and mercury in flooded and
nonflooded soil. Soil Science, Madison, 119(3):217-21,
Mar. 1975.

28. FAGERIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz. Rio de Janeiro, Campus, 1984. 341p.
29. _____; BARBOSA FILHO, M.P. & CARVALHO, J.R.P. Influência de ferro no crescimento e na absorção de P, K, Ca e Mg pela planta do arroz em solução nutritiva. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 16(4):483-8, 1981.
30. _____; ZIMMERMANN, F.J.P. & LOPES, A.M. Resposta do arroz irrigado à aplicação de fósforo, zinco e calcário. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1(213):72-6, jun. 1977.
31. FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. da. Cobre. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. da., ed. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. p.131-57.
32. FISHER, R.G.; EIMORI, I.E.; MILAN, P.A. & BISSANI, C.A. Efeito do calcário e fontes de silício sobre a toxidez de ferro em arroz irrigado. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 43(390):6-10, mar/jun. 1990.
33. FREIRE, F.M. & NOVAIS, R.F. Solos de Várzea, características e problemas relativos à fertilidade. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. PROVÁRZEAS NACIONAL; 1 hectare vale por 10. Brasília, s.d., p.7-11 (informação técnica, 1).

34. FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; SOARES, P.C. & COSTA, L.M. da. Toxicidade de ferro e seu controle em arroz irrigado. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 10(114):45-51, jun. 1984.
35. _____; _____; SOARES, P.C. & FARIA, E.A. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado. Revista Ceres, Viçosa, 32(180):162-9, Mar./Abr. 1985.
36. GOMES, A.S.; SOUZA, R.O.; ALQUATI, P.H.; MACHADO, M.O. & PAULETTO, E.A. Estudos preliminares sobre a dinâmica do ferro (ii) em três solos utilizados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1, Goiânia, 1987. Anais..., Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1987. p.180-8.
37. GUILHERME, L.R.G. Calagem e inundação em solos de várzea cultivados com arroz: alterações em pH, nitrogênio, fósforo e enxofre. Lavras, ESAL, 1990. 113P. (Tese MS).
38. GUILHERME, M.R. Efeitos da aplicação de calcário calcinado gesso e mistura calcário calcinado e gesso em culturas de interesse econômico. Piracicaba, ESALQ. 1986. 63p. (Tese MS).

39. GUIMARÃES, P.T.G. O gesso agrícola na neutralização do Alumí-
nio nas camadas superficiais do solo: aplicações às cultu-
ras anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFO-
GESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1986. Anais...
Brasília, Instituto Brasileiro do Fosfato, EMBRAPA, PETRO-
FÉRTIL, 1986. p.145-67.
40. HOWELER, R.H. Análises del tejido vegetal en el diagnóstico
de problemas Nutricionales: algunos cultivos tropicales.
Centro Internacional de Agricultura tropical, Cali, Colom-
bia, 1983. 28p.
41. KAMPF, N. O ferro no solo. In: REUNIÃO SOBRE O FERRO EM SO-
LOS INUNDADOS, 1, Goiânia, 1987. Anais..., Goiânia, Empre-
sa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de
Pesquisa de Arroz e Feijão, 1987. p.35-71.
42. LAMSTER, E.C. Programa Nacional de aproveitamento racional
de várzeas - Provárzeas Nacional. Informe Agropecuário,
Belo Horizonte, 6(65):3-8, maio. 1980.
43. LEITE, N.; GARGANTINI, H. & HUNGRIA, L.S. Efeitos da aduba-
ção nitrogenada e fosfatada em cultura de arroz em condi-
ções de várzea irrigada. Bragantia, Campinas, 29(11):115-
25, abr. 1970.

44. LOPES, A.S. Calagem e gesso agrícola. Encontro Técnico sobre gesso agrícola. Belo Horizonte, 1986. 58p. (Encontro técnico sobre gesso agrícola)
45. _____; "Solos sob cerrado": Características, propriedades e manejo. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
46. LOPES, M.S. Efeito da adubação e da calagem sobre a produtividade e a toxidez de ferro na cultivar Br-Irga 409. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 16, Camboriú, 1985. Anais... Camboriú, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina, 1987. p187-90.
47. MACHADO, M.O.; DIAS, A.D.; GOMES, A.S. da & PAULETTO, E.A. Efeito de fósforo e de calcário em cinco safras de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 14, Pelotas, 1985. Anais... Pelotas, Empresa de Pesquisa Agropecuária, 1985. p.219-25. (Documentos, 26).
48. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
49. _____ . O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, Uberaba, 1992. Anais... Uberaba, Instituto Brasileiro do Fosfato, 1992. p.41-66.

50. MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P.; LIEM, T.H. & VITTI, G.C. *Gesso agrícola- Uso na adubação e correção do solo*. 2.ed. São Paulo, Ultrafértil. Departamento de Serviços Técnicos Agrônômicos, 1981. 30p. (Série Divulgação Técnica, 8).
51. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 2 ed. Bern, International Potash Institute, 1979. p. 441-61.
52. MORAES, J.F.V. & FREIRE, C.J.S. *Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 9:35-43, 1974.
53. MORTENSEN, J.L. *Complexing of metals by soil organic matter*. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 27: 179-86, 1963.
54. MUNCH, J.C. & OTTOW, J.C.G. *Preferential reduction of amorphous to crystalline iron oxides by bacterial activity*. *Soil Science*, Madison, 129:15-21, 1980.
55. NAKAYAMA, F.S. *Problems associated with the determination and application of the solubility product constant*. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 35:442-5, 1971.

56. NOGUEIRA, F.D.; CARVALHO, J.G. de & PEREIRA, E.B. Efeitos do gesso sobre a produção de arroz (*Oriza sativa* L.) em solos de várzea inundado no sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23, Porto Alegre, 1991. Anais... Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. p.95-6
57. OATES, K.M. & CALDWELL, A.C. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 49(4):915-8, July/Aug. 1985.
58. OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOSKI, J. & REYNER, F.N. Efeito de fosfogesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de alguns nutrientes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, 1985. Anais... Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. P.45-60.
59. PAULA, M.B. de; CARVALHO, J.G. de & SOARES, A.A. Estudo da tolerância à toxidez de ferro por cultivares e linhagens de arroz irrigado. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 4, Goiânia, 1990. Anais... Goiânia, EMBRAPA-CNAPF, 1990. P.122.
60. PAVAN, M.A. Ação dos corretivos e fertilizantes na dinâmica de íons no solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Curso de Atualização em Fertilidade do Solo. Londrina, ANDA/PP/IPT, 1983. p.47-63.

61. PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. Soil Science Society of America Journal, Madison, 48:33-8, 1984.
62. PINTO, M.B.A.B de. Efeito residual da calagem, adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola na dinâmica de bases e características químicas do solo e subsolo. Lavras, ESAL, 1989. 97P. (Tese MS).
63. PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy, New York, 24:29-96, 1972.
64. _____ . Specific soil chemical characteristics for rice production in Asia. Manila, IRRI, 1977 18P. (IRRI. Research paper series, 2).
65. PRADO LEITE, C.E. do; SILVA, L. & MARINATO, R. Estudo comparativo entre sistemas de irrigação na cultura do arroz em Solo Aluvial no Norte de Minas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 10(114):41-5, jun. 1984.
66. QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. Van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de base no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(3):189-94, set./dez. 1982.

67. RAIJ, B. Van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.
68. _____. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.
69. _____. Reações de gesso em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, Uberaba, 1992. Anais... Uberaba, Instituto Brasileiro do Fosfato, 1992. p.105-19.
70. _____ & CAMARGO, O.A. de. Influência das bases trocáveis na lixiviação de potássio em colunas de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Santa Maria, 1973. Anais... Santa Maria, 1973. p.263-9.
71. RAMOS, M.G.; ZANINI NETO, J.A.; MOREL, D.A.; NOLDINI, J.A.; MARQUES, L.F.; MIURA, L.; SCHIMIT, A.T.; FROSI, J.F. & ALTHOFF, D.A. Manual de produção de arroz irrigado. Florianópolis, EMPASC/EMATER/ACARESC, 1981. 225P.
72. REEVE, N.G. & SUMNER, M.E.. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. Agrochemophysica, Private Bag, 4(1):1-6, 1972.

73. REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Effects of aluminium toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34 (2):263-7, Mar./Apr. 1970.
74. REIS, M.S. de. Efeitos da época de retirada da água sobre o rendimento de engenho e qualidade de grãos na cultura do arroz (*Oriza sativa* L.) irrigado. Lavras, ESAL, 1990. 77P. (Tese MS).
75. RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Anais... Salvador, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. p.86.
76. RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORRÊA, O. Calcium leaching to increase rooting dept in brasilian savannah Oxisol. Agronomy Journal, Washington, 72(1):40-4, Jan./Feb. 1980.
77. SCHIMIDT, N.C. & GARGANTINI, H. Efeito da aplicação de calcário, matéria orgânica e adubos minerais em culturas de arroz, em solo de várzea irrigada. Bragantia, Campinas, 29 (27):293-9, set. 1970.

78. SCHWERTMANN, V. Differenzierung de eisen oxide der bodens durch extraktion unit ammonium-oxalat-losung. Zeitschrift fluer Pflanzehernahrung, Berlim, 105(3):194-202, 1964.
79. _____; Ocurrence and formation of iron oxides various pedoenvironments. In: STUCKY, J.W.; GODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, V., eds. Iron in soils and clay minerals. Hol land, D. Reidel, 1988. Cap 2, p.267-308.
80. SANCHEZ, P.A. Suelos del tropico; caracteristicas y manejo. San Jose, IICA, 1981. p.442-90.
81. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56P.
82. 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* L.). Lavras, ESAL, 1990. 80P. (Tese MS).
83. SINGH, S.J. Effect of chloride and sulfate anions on the chemical characteristics of some acid soils. Canadian Journal Soil Science, Ottawa, 62:549-57, 1982.
84. SINGH, M. & SINGH, S.P. Zinc and phosphorus interaction in submerg paddy. Soil Science, Baltimore, 129(5):282-9, may 1980.

85. SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos.
In: INSTITUTO BRASILEIRO DO FOSFATO. Seminário sobre o uso do gesso na agricultura. Uberaba, 1992. p.7-40
86. TANAKA, A.; LOE, R. & NAVASERO, S.A. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. Soil Science and Plant Nutrition, Chvoda-Ku, 12(4):32-8, 1966.
87. VAHL, L.C.; GOMES, A.S. & BOTELHO, R.C. Influência do Ca, Mg, Zn, P, sobre o rendimento e outras características da cultura do arroz irrigado. Agros, Pelotas, 13(213):65-75, dez. 1978.
88. VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
89. VITTI, G.C.; 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

APÉNDICE

Quadro 2. Resumo das análises de variância para Nº de grãos/panícula; kg grãos/ha; Nº panículas/m linear.

C. VARIAÇÃO	GL	QM		
		Nº GRÃOS/PANÍCULA	kg GRÃOS/ha	Nº PANÍCULAS/m LINEAR
BLOCO	2			
VARIEDADE	1	2268,7500**	674028,0000**	266,0208*
GESSO	3	15526,6111**	11113782,5000**	9395,3541**
CALAGEM	1	1850,0833**	8316675,0000**	2836,6875**
VARIED X GESSO	3	31,3611	202446,0555*	33,4652
VARIED X CAL.	1	12,0000	92576,3333	1,6875
GESSO X CAL.	3	59,4722	199832,3888*	51,7986
VAR. X GES X CAL.	3	4,8333	36031,1666	70,3541
RESÍDUO	30	42,4819	63039,6486	44,5875
TOTAL	47			
MÉDIA	-	126,25	6184,08	126,18
CV%		5,16	4,06	5,29

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%

Quadro 3. Resumo das análises de variância parte aérea do arroz
Ca(%), S(%), P(%), Mg%).

C. VARIAÇÃO	GL	QM			
		Ca(%)	S(%)	P(%)	Mg(%)
BLOCO	2				
VARIEDADE	1	0,0065	0,0001	0,0014*	0,0003
CESSO	3	0,2900**	0,2740**	0,0054**	0,0204**
CALCÁRIO	1	0,0660**	0,0006	0,0080**	0,0188**
VAR. X GES	3	0,0040	0,0001	0,0008	0,0008*
VAR. X CAL	1	0,0021	0,0018*	0,0005	0,0001
GES. X CAL	3	0,0013	0,0010	0,0011	0,0002
VAR X GES X CAL	3	0,0016	0,0004	0,0011	0,0001
RESIDUO	30	0,0026	0,0004	0,0004	0,0002
TOTAL	47				
MÉDIA		0,366	0,216	0,190	0,193
CV (%)		14,00	9,33	10,62	7,74

* Significativo a 1%

** Significativo a 5%

Quadro 4. Resumo das análises de variância parte aérea do arroz
Zn(%), Mn(ppm), Fe(ppm), K(%) e Cu(ppm)

C. VARIACAO	GL	QM				
		Zn(%)	Mn(ppm)	Fe(ppm)	K(%)	Cu(ppm)
BLOCO	2					
VARIEDADE	1	102,0833**	1365,3333**	2310,1875**	0,0352	4,6875
GESSO	3	207,2222**	1421,7222**	62005,9097**	1,6046**	9,9097
CALCARIO	1	234,0833**	1741932,0000**	131566,0208**	0,5418**	1073,5208**
VAR X GES	3	4,7500	30,7222	30,3541	0,0207	5,1875
VAR X CAL	1	8,3333	161,3333	581,0208	0,0168	22,6875
GES X CAL	3	6,5277	180,9444	20704,0763**	0,1985*	11,6875
VAR X GES X CAL	3	2,0000	25,2777	136,5208	0,0235	10,7430
RESIDUO	30	6,6208	132,9902	229,6958	0,0443	10,1277
TOTAL	47					
MÉDIA		15,50	248,67	143,56	1,99	11,27
C.V.(%)		16,60	4,63	10,55	10,54	28,23

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%

Quadro 5. Resumo das análises de variância, variáveis Ca(%), V(%), Fe(ppm), Mn(ppm) e pH do solo.

C. VARIAÇÃO	GL	QM				
		Ca(%)	V(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	pH
BLOCO	2					
CESSO	3	1,1436**	29,8541**	365335,5763**	108,6855**	0,0507
CALAGEM	1	2,1675**	183,0208**	320950,5208**	70,0833**	0,1518*
GES X CAL	3	0,0358*	4,1875**	34578,4097**	0,4305	0,0074
RESIDUO (A)	14	0,0072	0,6636	176,1934	1,7380	0,0319
PARCELAS	23					
PROFUNDIDE	1	3,2033**	595,0208**	35045,0208**	630,7500**	0,0252
PRO X GES	3	0,0327*	0,7430	7028,9097**	10,7367**	0,0029
PRO X CAL	1	0,0533*	42,1875**	221,0208	18,7500**	0,0168
PRO X GES X CAL	3	0,0350*	2,2430	2026,3541	0,2638	0,0035
RESIDUO (B)	16	0,0075	1,0208	669,6666	1,3750	0,0158
TOTAL	47					
MÉDIA		1,42	13,31	340,81	10,70	4,90
C.V. (A) %		5,95	6,11	3,82	12,30	3,63
C.V. (B) %		6,06	7,59	7,59	10,95	2,56

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%

Quadro 6. resumo das análises de variância, variáveis Mg (meq/100 cc), Al (meq/100cc), S(%), K(%) no solo.

		QM.			
C. VARIAÇÃO	GL	Mg(meq)	Al(meq)	S(%)	K(ppm)
BLOCO	2				
CESSO	3	0,0238*	2,0940**	289,2430**	12,0555**
CALAGEM	1	2,0008**	0,7252**	6,0208	0,7500
GES X CAL	3	0,0080	0,1085	0,6319	1,9166
RESIDUO	14	0,0044	0,0356	1,3623	1,2023
PARCELAS	23				
PROFUND	1	0,4033**	19,1268**	40,3333**	310,0833**
PRO X GES	3	0,0116	0,0679	2,3333	426,1388**
PRO X CAL	1	0,1408**	0,1302	0,0833	108,0000**
PRO X GES X CAL	3	0,0002	0,0913	0,3055	9,1666*
RESIDUO	16	0,0081	0,0337	2,1197	1,8750
TOTAL	47				
MÉDIA		0,64	1,97	0,93	24,66
C.V. (A) %		10,37	9,56	13,05	4,44
C.V. (B) %		14,04	9,31	16,29	5,55

* Significativo a 5%

** Significativo a 1%