EFEITO DA APLICAÇÃO DO FOSFOGESSO EM UM SOLO SALINO - SÓDICO

ERASMO ROCHA LUCENA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Maior - 1986

A meus pais JORGE e IRENE
pelo carinho e orientações
em todas as etapas de
minha vida.

DEDICÓ com amor.

A meus irmãos
JOSE, LOURDES, LUCIA,
JANDUY, JAMACI, HELENA,
FÁTIMA e IRENESE.

OFEREÇO.

Homenagem especial:

ELISABETE BONAMIM

AGRADECIMENTOS

● autor expressa os mais sinceros agradecimentos:

- Ao Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira, pela firme e atenciosa orientação, como também pela amizade e estímulo, colaborando de uma forma decisiva na realização deste trabalho;
- À Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Paraíba - EMATER-PB, pela oportunidade concedida;
- À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo-SP, pela acolhida;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudo concedida;
- Ao Programa Institucional para Capacitação de Docentes-PICD, pela bolsa de estudo concedida;
- À Tereza Pedrosa, da Pró-Reitoria do Interior - Campina Grande-PB, pela amizade.
- À Ultrafértil - São Paulo, pela doação do fosfogesso;
- Ao Departamento de Química Analítica da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Campus da Universidade de São Paulo - Piracicaba-SP, pelas análises químicas das plantas;
- Ao Centro de Informática na Agricultura - CIAGRI, do Campus da Universidade de São Paulo em Piracicaba-SP, pelas análises estatísticas;

- Aos Diretores e colegas técnicos e administrativos da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Paraíba - EMATER-PB, pela compreensão que me proporcionaram durante todo período da realização desse curso;
- Aos Profs. Drs. Antonio Carlos Mendes Thame, Décio Barbin, Euripedes Malavolta, Geraldo V. de França, Jorge C. Kiehl, Júlio Marcos, Moacir de O.C. do Brasil Sobrinho, Octávio Freire, Osvaldo Godoy, Paulo Haag, Toshiaki Kinjo e Zilmar Ziller Marcos pelos inesquecíveis ensinamentos;
- Aos colegas e amigos Marcus Eustáquio de Sá, Morel Pereira Barbosa Filho e Valdinei Tadeu Paulino, pelas sugestões, na realização deste trabalho;
- Ao Prof, Dr. Lourival Ferreira Cavalcante, professor do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, pelos incentivos, orientações e acompanhamento deste trabalho;
- Aos Profs. Drs. Justo Moretti Filho e Nilson Augusto Vila Nova, da ESALQ/USP, pelas sugestões;
- A Eleusa, Elisabete, Ester, Geni, Mario, Marta, Neuci, Tito e demais funcionários do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP, Piracicaba-SP pelos serviços prestados;
- Ao Dr. Francisco de Assis Perazzo, Secretário de Agricultura do Estado da Paraíba, pelo apoio e estímulo dispensado a este trabalho;
- Ao Dr. Clovis Bezerra Cavalcanti, ex-governador da Paraíba, pela amizade e apoio nas horas de decisão;

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	iii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. O gesso como corretivo químico dos solos afetados por alcalinidade	03
2.2. Influências da salinidade na germinação e crescimento das plantas	06
2.3. Influências dos sais na absorção de nutrientes	08
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Localização do trabalho	11
3.2. Obtenção das amostras do solo e caracterização do local	11
3.3. Preparo da terra	12
3.3.1. Composição química da terra	13
3.3.2. Análise química do extrato de saturação	14
3.4. Análise química das soluções lixiviadas ...	17
3.5. Percentagem de sulfato de cálcio	18
3.6. Delineamento experimental	19
3.7. Adubação e plantio	19
3.8. Análise química da matéria seca	20
3.9. Análises estatísticas	20

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Análise química da terra antes e após a aplicação do fosfogesso	21
4.2. Análises químicas do extrato de saturação da terra, antes e após a aplicação do fosfogesso	38
4.3. Determinações químicas das soluções <u>lixivias</u>	46
4.4. Efeito sobre as plantas	64
4.4.1. Germinação, altura de plantas e produção de matéria seca	64
4.4.2. Absorção de macronutrientes e sódio	70
4.5. Considerações finais	81
5. CONCLUSÕES	83
6. LITERATURA CITADA	85

LISTA DE TABELAS

TABELA Nº		Página
01	Características físicas do solo antes da aplicação do corretivo	12
02	Características químicas do solo antes da aplicação do corretivo	15
03	Análises químicas do extrato de saturação do solo, antes da aplicação do fosfogesso	16
04	Quantidades de fosfogesso e percentagem relativa a cada dose fornecida	18
05	Análise química da terra antes da aplicação do fosfogesso (AAF), e aos sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação	37
06	Análise química do extrato de saturação da terra, antes da aplicação do fosfogesso e sessenta dias após a aplicação	45
07	Valores determinados nas soluções lixiviadas referente aos tempos zero (imediatamente após a aplicação) e aos vinte dias após aplicação do fosfogesso	62
08	Valores determinados nas soluções lixiviadas referentes aos tempos: quarenta e sessenta dias após a aplicação do fosfogesso	63

TABELA Nº

Página

09	Valores percentuais médios e diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de Tukey (probabilidade $\leq 0,05$) correspondente a germinação, altura de plantas e matéria seca produzida de feijão vigna e sorgo forrageiro	69
10	Valores percentuais médios e diferenças mínimas significativas (DMS) pelo teste de Tukey (probabilidade $\leq 0,05$) correspondentes a nitrogênio, fósforo e potássio absorvido por plantas de feijão vigna e sorgo forrageiro	75
11	Valores percentuais médios e diferenças mínimas significativas (DMS) pelo teste de Tukey (probabilidade $\leq 0,05$) correspondente a cálcio, magnésio, enxofre e sódio absorvido por plantas de feijão vigna e sorgo forrageiro	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº		Página
01	Variação do PO_4^{--} (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso	22
02	Variação do K^+ (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso	22
03	Variação do Na^+ (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso	
04	Variação do Ca^{++} (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso	27
05	Variação do Mg^{++} (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso.....	29
06	Variação do S, CTC (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso	31
07	Variação do SS (%) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso	
08	Variação do pH (H_2O) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso	35

FIGURA Nº

Página

09	Variação do pH no extrato de saturação da terra antes e sessenta dias após a aplicação do fosfogesso	39
10	Variação do CE a 25°C (mmhos/cm) no extrato de saturação da terra antes e sessenta dias após a aplicação do fosfogesso	40
11	Variação do Na^+ ; Ca^{++} ; Mg^{++} ; K^+ (meq/l) no extrato de saturação da terra, antes e sessenta dias após a aplicação do fosfogesso	42
12	Variação do HCO_3^- ; Cl^- ; CO_3^{--} e SO_4^{--} (meq / l) no extrato de saturação da terra, antes e sessenta dias após aplicação do fosfogesso	44
13	Variação do pH na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	48
14	Variação da CE a 25°C (mmhos/cm) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	50
15	Variação da concentração de Ca^{++} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	51

FIGURA Nº

Página

16	Variação da concentração de Mg^{++} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	53
17	Variação da concentração de K^{+} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	54
18	Variação da concentração de Na^{+} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	56
19	Variação da concentração de Cl^{-} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	58
20	Variação da concentração de HCO_3^{-} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	59
21	Variação na concentração de CO_3^{--} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	60
22	Variação na concentração de SO_4^{--} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos	61

FIGURA Nº

Página

23	Relação entre germinação (%), altura de plantas (cm), matéria seca (g) e doses de fosfogesso aplicadas (%)	67
24	Relação entre percentagens totais absorvida de nitrogênio, fósforo, potássio e doses de fosfogesso aplicadas	74
25	Relação entre percentagens totais absorvida de cálcio, magnésio, enxofre, sódio e doses de fosfogesso aplicadas	79

EFEITO DA APLICAÇÃO DO FOSFOGESSO EM UM SOLO SALINO-SÓDICO

Autor: ERASMO ROCHA LUCENA

Orientador: Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

RESUMO

O fosfogesso, resíduo industrial da fabricação do ácido fosfórico, foi utilizado para a correção de um solo salino-sódico, oriundo do Município de Sousa-PB, pertencente ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo.

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

As quantidades do corretivo utilizadas foram: Zero, 12,4g, 24,8g, 37,2g, 49,6g, 62,0g e 124,0g, correspondentes a 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% e 200% da necessidade máxima de gesso por quilograma de terra. Feita a incorporação do corretivo nos tratamentos, realizou-se quatro lixiviações: imediatamente, vinte, quarenta e sessenta dias após as aplicações. Utilizou-se 1200 ml de água para 3 kg de terra na primeira lixiviação, decrescendo até 600ml de água para a mesma quantidade de terra na última lixiviação.

Aos sessenta dias, executou-se novamente a análise química da terra e do extrato de saturação, com a finalidade de avaliar o efeito do corretivo sobre os tratamentos. Logo após procedeu-se uma adubação básica com uréia, fosfato monoamônico (MAP) e o cloreto de potássio, e plantou-se para testar o efeito do corretivo a cultura do feijão e logo após o sorgo.

Aos resultados obtidos mostraram que, dentre as quantidades fornecidas a dose-2 equivalente a 40% da necessidade máxima de fosfogesso apresentou-se como a mais eficiente na redução da salinidade, não provocando aumento excessivo nas concentrações de cálcio e de sulfato no solo.

PHOSPHOGYPSUM APPLICATION
EFFECT IN THE SALINE-SODIC SOIL

Author: ERASMO ROCHA LUCENA

Adviser: DR. RONALDO IVAN SILVEIRA

ABSTRACT

The Phosphogypsum, a industrial residue of phosphoric acid, was used as a chemical corrective of a saline-sodic soil from São Gonçalo Irrigated Project of Souza Municipality, Paraíba State, Brazil.

This research was carried out in a greenhouse of the Soil, Geology and Fertilizer Department of Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, University of São Paulo, Piracicaba, SP.

The quantities of the corrective utilized were: zero, 12.4g, 24.8g, 37.2g, 49.6g, 62.0g and 124.0g, corresponding to 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% and 200% of maximum necessity of gypsum for each kilo of soil.

After the incorporation of the corrective into the soils, four lixiviations were made: at immediately after the incorporation of the corrective, and at 20, 40, and 60 days after those applications. At the first lixiviation, 1200 ml of water has had to each 3 kilo of soil, decreasing the amount of water until 600 ml at the last lixiviation.

Sixty days after the application, the chemical analysis of the soil and of the saturated extracts were made once more with the purpose of evaluating the effect of the corrective application in the experiment.

Right after that, a treatment was made in the soil using urea, monommonium phosphate and the potassium chloride and bean followed by sorghum were sown in order to test the effects of the corrective.

The results showed that the second dose (equivalent to 24.8g of phosphogypsum/kg soil, or 40% of maximum requirement of phosphogypsum) is the most efficient for the salinity reduction, among the quantities used, not promoting an excessive increase in the calcium and sulphate concentrations.

1. INTRODUÇÃO

Nas regiões áridas e semi-áridas, as condições climáticas e pedológicas favorecem o processo de salinização e alcalinização da água do solo. Esses inconvenientes tendem a tornar duvidosa a água de um reservatório natural ou de um rio que antes era de boa qualidade para irrigação.

Para estes solos, seriamente comprometidos à exploração agrícola pelo excesso de sais ou de sódio trocável, existem diversos procedimentos com o objetivo de reduzir o nível de salinidade e de alcalinidade. No primeiro caso, a redução deve ser feita com a própria água de irrigação, através de lavagens contínuas ou intercaladas, enquanto que o segundo caso resolve-se mais adequadamente com um bom sistema de drenagem e aplicações de corretivos químicos.

Os problemas de sais que ocorrem mais intensamente nas regiões áridas e semi-áridas do mundo inteiro, têm sido uma constante preocupação por parte dos órgãos governamentais. A própria irrigação que é atualmente bastante incen

tivada, pode ocasionar sérios problemas de salinização, praticamente irreversíveis quando mal conduzida.

No Brasil, os solos afetados por sais ocorrem em maior extensão na região semi-árida do Nordeste. No estado da Paraíba, 25% da área total irrigada está seriamente afetada pelo excesso de sais solúveis e de sódio trocável (GOES, 1978) e estima-se que, no mínimo, 10% dessa área irrigada em todo o Nordeste já esteja abandonada, devido aos problemas de salinização que condicionam a impossibilidade de qualquer atividade agrícola (CAVALCANTE, 1982).

Com o objetivo de avaliar a ação do fosfogesso (resíduo da fabricação de ácido fosfórico) na redução do nível de sódio no solo, estudou-se no presente trabalho:

a) o efeito da ação de doses crescentes de fosfogesso sobre um solo aluvial salino-sódico coletado junto ao Perímetro Irrigado de São Gonçalo-Sousa-PB.

b) o comportamento de uma leguminosa e uma gramínea, quando submetidas a doses crescentes de fosfogesso nesse mesmo tipo de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A importância dos problemas de sais desde há muito é conhecida, principalmente nas zonas semi-áridas onde é marcante a necessidade de água, porém, quando existe, ela nem sempre é de boa qualidade (CAVALCANTE, 1980) em detrimento da germinação das sementes, do crescimento e produção da maioria das plantas cultivadas. Essa grande inconveniência, refletida, sobretudo, na queda de produção afeta diretamente a vida sócio-econômica do mundo semi-árido do Brasil.

2.1. ● gesso como corretivo químico dos solos afetados por alcalinidade

O gesso apesar de sua baixa solubilidade em água, em torno de 2 g/l, é o corretivo mais utilizado nos solos sódicos e salino-sódicos. Conforme RICHARDS (1954), PIZARRO (1978), essa preferência está associada ao seu menor cus-

to econômico em relação ao cloreto de cálcio que é bem mais eficiente na redução da sodicidade dos solos.

A aplicação do gesso está condicionada a concentração de sódio que os solos apresentam, podendo ser quantificada de várias maneiras. RICHARDS (1954) sugere que a quantidade desse corretivo deve ser feita pela equivalência entre o conteúdo de cálcio do corretivo químico e o teor de sódio trocável do solo. EL SHABASSY et alii (1973) afirmaram que a quantidade de gesso a ser aplicada produz maior efeito quando obtido em função da percentagem de sódio solúvel. Porém, ambos os casos têm o mesmo objetivo, ou seja, reduzir a excessiva concentração de sódio e sais de sódio da zona radicular das plantas.

KHOSLA e ABROL (1972) forneceram gesso a um solo salino-sódico nas proporções de 25, 50, 100 e 200% da necessidade de cálcio e concluíram que os melhores resultados corresponderam a níveis de 50% da necessidade de gesso aplicado. Esses resultados são coerentes com os de CAVALCANTE et alii (1984) ao concluírem que a matéria seca produzida por plantas de feijão decaiu com o suprimento de gesso industrial acima de 100% da necessidade de gesso.

EL SHABASSY et alii (1973) forneceram gesso incorporado e na superfície de um solo salino-sódico e observaram que a melhor estruturação correspondeu ao gesso aplicado na superfície. Resultados semelhantes foram obtidos por EL MOWELHI et alii (1976) ao concluírem que o gesso propor-

cionou aumento da infiltração de água no solo e as características químicas melhoraram sensivelmente, enquanto GOBRAN et alii (1982) aplicaram gesso incorporado e na superfície de um solo sódico e concluíram que houve adequado aumento da macroporosidade e redução da porcentagem de sódio trocável dos solos, conforme verificou também, CAVALCANTE (1984) tratando solos salinizados com fosfogesso.

PEREIRA e SILVA (1977) aplicaram doses de 5, 10, 15 e 20 ton/ha de gesso em solos com problemas de sódio e concluíram que apesar de não verificarem respostas da produção de arroz, o teor de sódio foi bastante diminuído. PEREIRA et alii (1980) forneceram 13 e 26 ton/ha de gesso em solo salino-sódico e constataram que após um ano a porcentagem de sódio trocável, que era superior a 15%, foi reduzida a valores inferiores a 10%, indicando eficiência do corretivo na lixiviação de sódio.

Quanto a utilização do fosfogesso, no deslocamento de sódio trocável, CAVALCANTE e SILVEIRA (1983) trataram um solo salino-sódico com duas doses crescentes e verificaram efeitos promissores do corretivo na redução de carbonato, bicarbonato, cloreto e aumento de cálcio e sulfato das soluções lixiviadas, bem como diminuição de pH e condutividade elétrica das soluções lixiviadas.

Tratando um solo salino-sódico com as doses 0%, 100% e 200% da sua necessidade de gesso, CAVALCANTE (1984) constatou efeitos positivos do fosfogesso sobre a capacidade

de transmissão de água do solo (macroporosidade), deslocamento e lixiviação de sódio, carbonato, bicarbonato e redução de pH e condutividade elétrica. Conforme o autor, o solo que era inicialmente imprestável para a agricultura, adquiriu em casa de vegetação condições para a germinação, crescimento e floração de plantas de feijão vigna. Continuando a pesquisa, CAVALCANTE et alii (1985) encontraram resultados semelhantes para a cultura do sorgo forrageiro, observando inclusive que a germinação e crescimento do sorgo foram inferiores ao do feijão em um solo altamente concentrado em sódio, tratados com fosfogesso.

A eficiência do gesso na lixiviação de sódio aumenta com o teor de umidade do solo, segundo resultados mostrados por ABDEL SALAM (1983), assinalando, ainda, maiores efeitos com teores crescentes de água no solo. Informações dessa natureza já foram comentadas por DAKER (1970) e dentre muitos outros cita-se também CAJUSTE (1977).

2.2. Influência da salinidade na germinação e crescimento das plantas

A salinidade afeta direta ou indiretamente (STROGONOV, 1964) e de maneira gradual ou abrupta (BERNSTEIN e HAYWARD, 1958), a germinação, crescimento e produção da grande maioria das plantas cultivadas.

Resultados de quedas sensíveis de germinação de sementes em feijão comum, feijão vigna e de sorgo granífero tratados com cloreto de sódio e sulfato de sódio, são apresentados por PRISCO (1978). Dentre as culturas, as mais sensíveis durante o processo de germinação, ao nível de salinidade que variou de -2 a -12 bar de pressão osmótica, foram o sorgo e o feijão vigna, sobre as soluções com pressão osmótica mais negativas.

VIEIRA (1975) cultivou feijão vigna em soluções nutritivas de cloreto de sódio, cuja pressão osmótica variou de 0 a -6 bar e verificou que o crescimento relativo das plantas foi afetado para qualquer nível de salinidade. Justificou o autor que o NaCl inibiu a produção de proteínas, totais e insolúveis, que durante o processo germinativo sofrem hidrólise e têm como resultado compostos que se translocam dos órgãos de reservas para as zonas de crescimento. São conclusões também em acordo com EATON (1942) para o sorgo, MACHADO et alii (1976) para o feijão comum e THOMAS (1980) para o algodoeiro.

ENEAS FILHO (1979) submeteu sementes de feijão Caupi em soluções de NaCl com pressão osmótica que variou de 0 a -8 bar e constatou quedas sensíveis nos percentuais de germinação, mesmo em concentrações toleráveis pelo feijão comum, como concluíram MACHADO et alii (1976).

JONES (1981) tratou plantas de feijão comum com cloreto de sódio, sulfato de sódio e cloreto de cálcio, em solução nutritiva e constatou que dentre os sais, o clore

to de sódio resultou em maior crescimento e produção de matéria seca. É uma informação conflitante com DOWTON (1977), ao afirmar que o NaCl mesmo em baixa concentração inibiu o crescimento das plantas.

LUCENA et alii (1983) incorporaram diferentes doses de fosfogesso a um solo salino-sódico e verificaram que, para o feijão vigna e sorgo forrageiro, a maior percentagem de germinação ocorreu com a aplicação do corretivo ao nível de 40% e 20% da necessidade de gesso do solo.

2.3. Influência dos sais na absorção de nutrientes

O objetivo maior da correção da salinidade e alcalinidade dos solos é procedê-la para uma agricultura viável. Dessa forma, a exploração dos solos, após correção principalmente com plantas alimentícias é considerada uma prática de elevado alcance social.

EL GABALY (1955) verificou que o fornecimento de gesso reduziu o índice de sódio trocável, aumentou a concentração de cálcio e enxofre e proporcionou melhores níveis de produção das culturas.

Conforme BERNSTEIN (1964) os efeitos da salinidade variam com as espécies e numa mesma espécie entre variedades. O feijão comum, por exemplo, sensível aos sais, em virtude do que pode, em meios salinos, extrair maiores concentrações

de cálcio ou de sódio do que uma planta tolerante, ao ponto de provocarem desequilíbrio na relação Ca/K, comprometendo a nutrição das plantas.

RAVIKOVITH e PORATH (1967) e LUNIN e GALLANTINI (1968) observaram que as plantas de feijão tiveram a translocação de fósforo diminuída, quando cultivadas em condições de excesso de sais. Por outro lado SAMENI et alii (1980) observaram, também em feijoeiro, que o crescimento e absorção de nitrogênio pelas plantas foram afetadas pela salinidade, mesmo com baixos teores de sais do solo.

EL KOBIA et alii (1969) utilizando diferentes doses de gesso, verificaram que o aumento de cálcio quase não interferiu no aumento de absorção de magnésio e na diminuição de fósforo pelas plantas de alfafa, porém, a redução dos teores de sódio e percentagem de sódio trocável foi bastante expressiva. Tais resultados estão de acordo com GHOWALL et alii (1980), ao observarem que o gesso fornecido nas doses de 1 a 20 t/ha não revelou significância estatística na absorção de magnésio, nitrogênio e fósforo por plantas de feijão e cevada.

HASSAN et alii (1970) constataram que níveis elevados de sais no solo prejudicam a absorção e composição mineral das plantas. Ainda observaram existir correlações positivas entre os teores iônicos nos solos e os absorvidos pelas plantas de milho e cevada. Na literatura é comum encontrar-se que a salinidade dos solos inibe a absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pela

grande maioria das plantas, como discutiram JABOBY (1964) e LUNIN e GALLANTINI (1968), para o feijão comum, EL KADI et alii (1977), MEDEIROS (1982) para o feijão vigna.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do trabalho

O ensaio foi desenvolvido em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, ESALQ/USP - Piracicaba, SP, caracterizada pelas coordenadas geográficas: Latitude 22° 42'30"S, Longitude 47°38'00"W, Altitude 576 metros, acima do nível do mar.

3.2. Obtenção das amostras do solo e caracterização do local

As amostras de terra utilizadas foram coletadas de 0-30 cm de profundidade em vários locais de um solo aluvial (setor 10), do Perímetro de Irrigação de São Gonçalo,

situado a 10 km da cidade de Sousa-PB, sob a administração do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas-DNOCS, com o apoio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária - EMEPA-PB e Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Paraíba - EMATER-PB. O projeto possui 4600 ha, dos quais 2.500 ha são irrigados por gravidade, com água do açude público de São Gonçalo-PB. O clima da região, conforme Köppen, é do tipo Bsh (quente e seco), com precipitação pluvial de 850 mm anuais, sendo inferior a evaporação. O período chuvoso compreende os meses de janeiro a maio, sendo precipitados mais de 589 mm nos meses de fevereiro, março e abril. A umidade relativa do ar é da ordem de 64% e a temperatura média mensal supera 20°C (CORDEIRO, 1977) e o local apresenta as coordenadas geográficas: Latitude 6°45'00"S, Longitude 38°10'00"W, Altitude 220 metros acima do nível do mar.

3.3. Preparo da terra

A análise física foi feita a partir de amostras de terra secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneiras com malha de 2 mm. Antes do fornecimento do corretivo, determinou-se a densidade aparente ou global (d_g), densidade real ou de partículas (d_p), conforme o procedimento de BLAKE (1965), porosidade total, macro e micro porosidade, VOMOCIL (1960). O percentual de argila, silte e areia foram de

terminados pelo método da pipeta (ROBINSON, 1922), conforme dados contidos na tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do solo (setor 10) antes da aplicação do corretivo.

Características físicas	
Areia total (%)	44,4
Areia muito grossa (%)	0,6
Areia grossa (%)	2,1
Areia média (%)	3,4
Areia fina (%)	12,9
Areia muito fina (%)	25,4
Argila dispersa em calgon (%)	15,9
Argila dispersa em água (%)	14,0
Índice de estrutura (%)	11,9
Silte (%)	39,7
Porosidade total (%)	47,8
Macroporosidade (%)	16,6
Microporosidade (%)	31,2
Densidade aparente (g/cm ³)	1,4
Densidade da partícula (g/cm ³)	2,68

3.3.1. Composição química da terra

Foi realizada uma análise química da terra (Tabela 2) antes de serem aplicados os tratamentos, para se quan

tificar a necessidade do corretivo a ser fornecida ao solo. A quantidade do corretivo aplicado foi calculada pela equivalência entre a concentração de sódio existente no solo e a de cálcio existente no corretivo, conforme recomendação de RICHARDS (1954). Aos sessenta dias após a aplicação do corretivo, determinou-se os teores iônicos do solo para se avaliar o efeito do fosfogesso na redução do sódio trocável do solo e sugerir uma adubação básica para as plantas. Logo após a colheita das culturas utilizadas, ou seja aos 240 dias após a utilização do corretivo, novas determinações foram efetuadas, com a finalidade de observar a influência do fosfogesso na solução de sódio dos solos, conforme metodologia da EMBRAPA (1979).

3.3.2. Análise química do extrato de saturação

Para se avaliar o nível de salinidade inicial do solo (Tabela 3) foram determinadas no extrato de saturação os teores dos ions solúveis em água (sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, carbonato, bicarbonato e sulfato), como também o pH e condutividade elétrica a 25°C (CE) antes de ser aplicado o corretivo, para se avaliar o nível de salinidade.

Para se observar o efeito na redução de sódio, carbonato, bicarbonato, cloreto e pH dos tratamentos, determinaram-se as concentrações dos mesmos elementos aos sessen-

Tabela 2. Características químicas do solo (setor 10) antes da aplicação do corretivo.

Características químicas	
Matéria orgânica (%)	0,21
PO_4^{---} (meq/100g TFSA)	0,14
K^+ (meq/100g TFSA)	0,12
Na^+ (meq/100g TFSA)	61,25
Ca^{++} (meq/100g TFSA)	5,20
Mg^{++} (meq/100g TFSA)	2,00
S (meq/100g TFSA)	68,57
CTC (meq/100g TFSA)	68,57
V (%)	100,00
SS (%)	89,32
pH (água 2:1)	10,50
pH (KCl-1N 2:1)	10,40
pH (CaCl_2 - 0,01M 2:1)	10,80
Necessidade de gesso (NG):	
a) g/kg de solo	42,16
b) t/ha	186,00

$$S = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^+ + \text{Na}^+; \quad \text{CTC} = S + \text{H}^+ + \text{Al}^{+++}$$

$$V = 100 \text{ S/CTC}; \quad \text{SS} = 100 \text{ Na}^+/\text{S}$$

SS = Percentagem de Saturação de Sódio

V = Percentagem de saturação de base

CTC = Capacidade de Troca Catiônica

ta dias após ser fornecido o fosfogesso, aplicando-se a metodologia sugerida pela EMBRAPA (1979).

Tabela 3. Análise química do extrato de saturação do solo, antes da aplicação do fosfogesso.

Parâmetros	Solo 10
pH	10,50
CE 25°C (mmhos/cm)	22,61
Ca ⁺⁺ (meq/l)	0,24
Mg ⁺⁺ (meq/l)	0,12
Na ⁺⁺ (meq/l)	812,48
K ⁺ (meq/l)	0,15
SC (meq/l)	812,99
RAS (mmol/l) ^{1/2}	1915,03
PST 9%)	97,60
Cl ⁻ (meq/l)	353,33
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	258,75
CO ₃ ⁻ (meq/l)	182,50
SO ₄ ⁻ (meq/l)	16,74
SA (meq/l)	811,32
Classificação	salino - sódico

CE = Condutividade elétrica a 25°C; SC = Soma de Cátions ;
RAS = Relação de adsorção de sódio; PST = Percentagem de sódio trocável ou intercambiável; SA = Soma de ânions.

Calculou - se também em cada caso a relação de adsorção de sódio (RAS) pela expressão:

$$RAS = Na^+ [(Ca^{++} + Mg^{++})/2]^{-1/2}.$$

A percentagem de sódio trocável (PST) obtida pela equação:

$$PST = \frac{100(0,0212 \text{ RAS} - 0,0135)}{1 + (0,0212 \text{ RAS} - 0,0135)}$$

de PEREIRA (1981), originalmente para solos de cinco setores irrigados do projeto.

3.4. Análise química das soluções lixiviadas

Após o fornecimento do corretivo foram efetuadas 4 lixiviações, nos intervalos de zero, vinte, quarenta e sessenta dias. A água aplicada para as lixiviações variou de 1200 para 600 ml, por 3 kg de solo. Foram aplicados sucessivos molhamentos, visando manter a solubilidade do corretivo e, conseqüentemente, aumentar a eficiência das reações de troca do cálcio do agente recuperador pelo sódio do solo.

A quantidade de água fornecida visou a coletar-se de cada vaso, aproximadamente, 300 ml da solução drenada de cada lixiviação, com a finalidade de determinar os conteúdos de cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, carbonato, bicarbonato e sulfato e os valores de pH e CE, para observação do equilíbrio entre cátions e ânions e também quantificar a relação de adsorção de sódio (EMBRAPA, 1979).

3.5. Percentagem de sulfato de cálcio

Aplicou-se o corretivo com base nos teores de sódio trocável do solo e de cálcio do fosfogesso da Ultrafértil. Para cada vaso de barro, previamente impermeabilizado e com um dreno na parte inferior para a coleta das soluções lixiviadas, utilizou-se de três quilos de terra e aplicou-se-lhes as doses do corretivo nos 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 em três repetições, correspondentes às quantidades de fosfogesso necessárias para o deslocamento de sódio do solo, conforme Tabela 4.

Tabela 4. Quantidades de fosfogesso e percentagens relativas a cada dose fornecida.

Trat.	Dose	Porcentagem relativa da *NG (%)	Quantidade fornecida		
			**Fg/kg solo (g)	Fg/ha (ton)	Gesso/ha (ton)
1	0	0	0	0	
2	1	20	12,4	54,7	37,2
3	2	40	24,8	109,4	74,4
4	3	60	37,2	164,1	111,6
5	4	80	49,6	218,8	148,8
6	5	100	62,0	273,5	186,0
7	6	200	124,0	547,0	372,0

* Necessidade de gesso do solo

** Fosfogesso industrial.

3.6. Delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido em blocos inteiramente casualizados, com sete tratamentos e três repetições, constando de um tipo de solo e sete níveis de fosfogesso com três repetições. Serviram de apoio e observações as culturas de feijão vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.).

3.7. Adubação e plantio

Sessenta dias após a incorporação do fosfogesso, realizou-se uma análise do solo para avaliar o efeito do corretivo na redução do sódio trocável e proceder-se também uma adubação básica, completando-se para 250 ppm os níveis de NPK, respectivamente. Foram utilizados os fertilizantes: Ureia (45% N), fosfato monoamônico - MAP (52% P_2O_5 e 10% N) e cloreto de potássio (60% K_2O), numa mistura distribuída, aproximadamente, 5 cm abaixo da superfície, no dia do plantio. Para o caso do fósforo que mostrou-se crescente com as doses de fosfogesso fornecidas, a quantidade de P aplicada correspondeu à diferença entre 250 ppm e a quantidade já existente em cada tratamento.

Logo após a adubação, para testar o efeito do corretivo, utilizou-se inicialmente o plantio do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cultivar Ipean V-69, for-

necida pelo Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Belém, PA e logo após a colheita procedeu-se também o plantio do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar IPA-1218, fornecido pela Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA-PE).

3.8. Análise química da matéria seca

Foram determinadas na matéria seca da parte aérea as percentagens totais de nitrogênio, fósforo e potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio extraídos pelas plantas de feijão e sorgo, conforme sugerem SARRUGE e HAAG (1974).

3.9. Análise estatística

Os estudos estatísticos corresponderam as análises de variância e de regressão polinomial, conforme PIMENTEL GOMES (1973).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise química da terra antes e após a aplicação do fosfogesso

De acordo com os resultados apresentados na Ta bela 5 verifica-se que a condição inicial da terra, antes da aplicação do corretivo, é de alta concentração de sódio, alta percentagem de saturação de sódio e pH elevado, condições estas que não permitem o desenvolvimento de plantas sensíveis a salinidade, em especial as que visem a produção de alimentos (PIZARRO, 1978; CAVALCANTE, 1980 e SOUSA, 1971).

Nos valores apresentados de PO_4^{3-} solúvel (Figura 1), verifica-se que os resultados mostram alterações no conteúdo deste elemento com o tempo e com as doses do corretivo. Aos sessenta dias verificou-se uma ligeira queda no conteúdo desse elemento no tratamento testemunha em relação ao analisado antes da aplicação do corretivo, o que pode ser creditado a realização das quatro lixiviações executadas na

Figura 1. Variação do PO_4 (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso.

Figura 2. Variação do K^+ (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso. *AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

terra antes do plantio das culturas, que provavelmente conseguiram realizar uma lavagem desse nutriente. A partir da dose-1 do corretivo verificou-se aumento no conteúdo do PO_4^{---} , sendo que esses aumentos foram maiores com os aumentos das doses, fato este justificável, uma vez que o corretivo contém 1,2% de P_2O_5 , além do fornecimento da adubação básica com fosfato monoamônico (MAP), logo após a incubação do corretivo. Estes resultados estão coerentes com os de CAVALCANTE (1984), que trabalhando com o mesmo solo, constatou aumento nos teores desse elemento com aplicação de crescentes doses de fosfogesso.

Comparando-se os valores de PO_4^{---} solúvel aos sessenta dias (após a aplicação do fosfogesso) e aos duzentos e quarenta dias (após aplicação e após a colheita das culturas), constata-se que aos sessenta dias os valores foram sempre superiores aos duzentos e quarenta dias, isto provavelmente podemos admitir devido a absorção do elemento pelas plantas utilizadas como teste na fixação pelo solo.

Os teores de K^+ (Figura 2) mostram que não ocorreram grandes alterações com a aplicação do corretivo, uma vez que antes da aplicação do fosfogesso o teor estava em 0,12 meq/100g, e aos sessenta dias após manteve-se praticamente estável, apresentando valores médios de 0,14 meq/100g, conforme pode-se ver na Tabela 5. No entanto, as análises realizadas aos duzentos e quarenta dias após a aplicação do corretivo e após a colheita das culturas, revelaram um acréscimo

no conteúdo desse elemento, e como pode ser observado na Figura 2, os efeitos foram mais pronunciados com o tempo do que com as doses aplicadas. Os aumentos deste elemento se devem, provavelmente, ao deslocamento do sódio do solo pelo cálcio do corretivo, ocasionando lixiviação do sódio, além do efeito benéfico do cálcio aumentando a disponibilidade do potássio, de forma que com isto ocorrem um propiciamento ao aparecimento do potássio no complexo de troca, além de que parte deste elemento pode ter sido fornecido pela matéria orgânica que também teve o seu conteúdo aumentado com o cultivo das plantas.

Quanto ao sódio, os valores observados mostram que houve decréscimo acentuado no conteúdo do elemento com as lixiviações e com a aplicação do corretivo (Tabela 5 e Figura 3). Verificou-se que houve diferenças entre os valores observados antes da aplicação do corretivo em relação à testemunha, aos sessenta e aos duzentos e quarenta dias após a aplicação, sendo que no tratamento testemunha foram feitas apenas lixiviações. Isto indica que as lixiviações provocaram uma lavagem do sódio, com os valores decrescendo de 61,25 para 26,00 meq/100g. Com a aplicação do corretivo as reduções continuaram a ocorrer com os valores decaindo até 8 meq/100g com a dose-5 aos sessenta dias e até 3,89 com a maior dose aos duzentos e quarenta dias.

Observa-se também que com o tempo ainda se verificou efeito do corretivo, pois as análises realizadas aos

Figura 3. Variação do Na⁺ (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

duzentos e quarenta dias apresentaram teores de sódio inferiores aos observados aos sessenta dias. Os efeitos foram mais pronunciados até a dose-4 do corretivo, sendo que a partir daí doses de corretivos não proporcionaram maiores reduções.

As observações mostraram que tanto a água como o corretivo foram eficientes no deslocamento do sódio do complexo de troca pelo cálcio, resultados estes que estão de acordo com PEREIRA e SILVA (1977), KHOSLA et alii (1979), CSTER e FRENKEL (1980); CAVALCANTE (1984) e SZABOLCS (1971).

A Tabela 5 e Figura 4, mostram que os teores de cálcio no solo sofreram uma grande variação com a aplicação dos tratamentos. Verifica-se inicialmente um decréscimo no conteúdo de cálcio, comparando-se a condição inicial com a testemunha (tratamento 1) tanto na análise realizada aos sessenta como aos duzentos e quarenta dias após a aplicação do corretivo. Este decréscimo pode ser atribuído aos efeitos das quatro lixiviações realizadas até aos sessenta dias, que pelo processo de lavagem levaram a diminuição do cálcio. No entanto, a partir da dose-1 de corretivo verificou-se um aumento no conteúdo do elemento no solo com o aumento da dose de fosfogesso aplicada. Este fato é plenamente justificável tendo-se em vista o elevado teor de sulfato de cálcio no corretivo (68%). O conteúdo de cálcio no solo aumentou de 1,32 meq/100g (testemunha após lixiviação) até 99,55 meq/100g (dose-6 do corretivo, duzentos e quarenta dias após a aplicação).

Figura 4. Variação do Ca⁺⁺ (meq/100g) na terra antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

O aumento na concentração de cálcio no complexo de troca pela ação do corretivo evidencia a eficiência deste, de forma que o cálcio adicionado possa diminuir a concentração de sódio no referido complexo, permitindo assim uma maior absorção de nutrientes pelas plantas. Estes fatos estão de acordo com as observações realizadas para o sódio, onde o aumento nas doses de corretivo proporcionaram um decréscimo na concentração do sódio, e verificou-se que concomitantemente a isto ocorreu um acréscimo nos teores de cálcio.

Estes resultados estão de acordo com observações de CAJUSTE (1977) e CAVALCANTE (1984) que também verificaram que embora o fosfogesso possua baixa solubilidade, os teores de cálcio trocável no solo aumentaram com o aumento da dose de corretivo utilizada, além de provocar diminuição no conteúdo de sódio no complexo de troca.

Também para o magnésio, observa-se um decréscimo no teor inicial devido ao efeito das lixiviações ao se comparar os valores obtidos para as análises realizadas antes da aplicação e a testemunha.

Nas análises realizadas após a aplicação do corretivo, já com a dose-2, sessenta dias após a aplicação, observa-se um aumento no teor do elemento, aumento este que apesar de não ser proporcional, acompanha as doses do corretivo em ordem crescente. Já aos duzentos e quarenta dias após a aplicação do corretivo revelam um menor teor de magnésio em relação à condição inicial, no entanto verifica-se que estes teo-

Figura 5. Variação do Mg^{++} (meq/100g) na terra, antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

res foram crescentes com o aumento das doses (Tabela 5 e Figura 5). Estes valores abaixo do observado aos sessenta dias podem ser creditados em parte à absorção do elemento pelas plantas que cresceram nos tratamentos com corretivo, e outra parte às lixiviações onde se verifica teores menores de magnésio no solo após este evento, além de que pode ter havido substituição do magnésio no complexo de troca pelo cálcio que teve seu conteúdo bastante elevado com as doses de fosfogesso.

As variações de S e CTC do solo com as diferentes doses de fosfogesso, após as lixiviações e aplicação do corretivo são apresentadas na Tabela 5 e ilustradas pela Figura 6. Observa-se que após as lixiviações (AAF em relação ao tratamento 1), houve um decréscimo em S e CTC (que são iguais pelo fato do solo não possuir H^+ e Al^{+++}).

A aplicação do corretivo proporcionou um ligeiro acréscimo na CTC a partir da dose-2 continuando a aumentar até a maior dosagem. Inicialmente, estes aumentos não foram tão pronunciados uma vez que o sódio no solo sem corretivo tinha grande participação no complexo de troca foi muito lavado e o cálcio repostado pelo corretivo não era suficiente para elevar a CTC até o valor inicial. No entanto, com a dose maior de corretivo, principalmente devido à contribuição do cálcio, a CTC do solo atingiu valores superiores aos observados inicialmente. É importante observar ainda, que aos duzentos e quarenta dias, a contribuição do cálcio na CTC é maior que a do sódio a partir da dose-3 de corretivo.

Figura 6. Variação do S, CTC (meq/100g) na terra, antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

Na maioria dos casos (exceção para a maior dose) a CTC determinada aos sessenta dias foi superior a determinada aos duzentos e quarenta dias após a aplicação do corretivo e esta diferença, em parte pode ter sido devido a absorção de alguns nutrientes pelas plantas teste (Ca^{++} , Mg^{++} e K^+), diminuindo assim a participação deles no complexo de troca.

Os valores obtidos para SS* contidos na Tabela 5 são ilustrados na Figura 7. Observa-se que inicialmente ocorreu um acréscimo na SS (AAF em relação à tratamento 1) devido às lixiviações que ao afetar Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ afetou a CTC e S e dessa forma a relação $100 \text{ Na}^+/\text{S}$; e como decréscimo de S foi maior que de Na^+ (em relação à condição inicial) então verificou-se um pequeno acréscimo na SS.

No entanto, com o aumento das doses de corretivo ocorreu um decréscimo na SS, que caiu de um valor inicial de 89,32% para 7,93% aos sessenta dias e 3,62% aos duzentos e quarenta dias. Este comportamento expressa o decréscimo no conteúdo de sódio do solo, estando coerentes com os resultados verificados por CAVALCANTE (1984). Aliado ao decréscimo na SS e no teor de Na^+ trocável, verificou-se um significativo aumento nos teores de cálcio, mostrando dessa forma o efeito desse elemento deslocando o Na^+ do complexo de troca, além de diminuir a participação deste elemento (Na^+) na CTC do solo.

* Porcentagem de saturação de sódio.

Figura 7. Variação do SS (%) na terra, antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso. *AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

Os dados referentes às variações ocorridas com o pH do solo em função das doses de corretivo aplicadas e tempo em que foram realizadas as análises estão na Tabela 5 e ilustrados na Figura 8. Verifica-se que o pH diminuiu com as lixiviações (AAF em relação ao tratamento 1) e com as doses de corretivo aplicadas.

O fato das lixiviações terem causado redução no pH do solo pode ser explicado tendo-se em vista que a água aplicada retirou cátions como Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e nas condições de solo salini-sódico estes cátions (principalmente Na^+) são responsáveis pelo aumento do pH.

A redução do pH com as doses de corretivo foi mais evidente até a dose-3, tanto aos sessenta como aos duzentos e quarenta dias após a aplicação. A partir da dose-3 os incrementos de dosagem não proporcionaram redução efetiva no pH do solo.

Aos sessenta dias após a aplicação do fosfogeno o pH do solo ($\text{pH} - \text{H}_2\text{O}$) sofreu redução (tratamento 4) de 10,5 para 8,5 e aos duzentos e quarenta dias esta redução atingiu pH 7,6. Com isto, sessenta dias após a aplicação do corretivo já foi possível semear plantas testes que tiveram o seu desenvolvimento menos afetado a medida em que o pH foi sendo reduzido.

Esta redução no pH, tornou possível o desenvolvimento de plantas no solo, além de evidenciar a eficiência do corretivo na correção do solo, haja vista que on-

Figura 8. Variação do pH (H₂O) na terra, antes, sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação do fosfogesso. *AAF= antes da aplicação do fosfogesso.

de não se corrigiu a salino-sodicidade até a germinação das sementes foi prejudicada, resultados coerentes com os obtidos por diversos autores como: STROGOV (1964); PEARSON et alii (1966), PRISCO et alii (1975), VIEIRA (1975), MACHADO et alii (1976), ENEAS FILHO (1979) e CAVALCANTE (1982) que observaram que a salinidade provoca sensível redução na germinação de sementes principalmente em plantas sensíveis. Por outro lado, PEREIRA e SILVA (1977) e CAVALCANTE (1984) também verificaram que doses de fosfogesso causaram expressivos efeitos na redução do pH de solo salino-sódico, o que também concordaram com as observações aqui realizadas.

Observando os valores apresentados na Tabela 5 e nas Figuras 1 a 8 verifica-se que a adição do corretivo proporcionou aumentos nos teores de PO_4^{---} , Ca^{++} e Mg^{++} trocáveis, CTC e S (após a lixiviação) e decréscimos nos teores de Na^+ trocáveis, SS e pH.

As lixiviações realizadas proporcionaram uma lavagem do Na^+ e uma grande redução na SS, contribuindo para que posteriormente a participação do Na^+ na CTC fosse bem reduzida em relação à condição inicial.

O efeito benéfico apresentado pela ação conjunta das lixiviações mais o fosfogesso, torna possível a correção do solo salino-sódico, a germinação e o desenvolvimento de plantas no solo em estudo.

Tabela 5. Análise química da terra antes da aplicação do fosfogesso (AAF), e aos sessenta e duzentos e quarenta dias após a aplicação.

Parâmetros	AAF*	TEMPO = 60 dias							TEMPO = 240 dias						
		TRATAMENTOS							TRATAMENTOS						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
M.O. (%)	0,21	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,96	0,84	0,84	0,84	0,84
PO ₄ ³⁻ (mg/100g)	0,14	0,11	0,30	0,60	0,83	0,93	1,36	1,82	0,11	0,32	0,54	0,63	0,63	1,01	1,43
K ⁺ (mg/100g)	0,12	0,19	0,16	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,19	0,44	0,46	0,46	0,50	0,52	0,52
Na ⁺ (mg/100g)	61,25	26,00	15,00	11,00	9,00	8,00	8,00	8,00	26,00	11,34	5,22	4,25	3,84	3,83	3,82
Ca ⁺⁺ (mg/100g)	5,20	1,32	6,08	19,68	26,96	36,32	47,28	89,80	1,32	9,10	14,95	28,35	32,87	49,29	99,55
Mg ⁺⁺ (mg/100g)	2,00	0,32	0,40	2,32	2,68	2,72	2,80	2,92	0,32	0,52	0,76	0,84	1,32	1,57	1,77
S (mg/100g)	68,57	27,83	21,64	33,14	38,78	47,18	58,21	100,86	27,83	21,40	21,39	33,90	38,53	55,21	105,66
CIC (mg/100g)	68,57	27,83	21,64	33,14	38,78	47,18	58,21	100,86	27,83	21,40	21,39	33,90	38,53	55,21	105,66
V (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
SS (%)	89,32	93,42	69,32	33,19	23,20	16,96	13,74	7,93	93,42	52,99	24,40	12,54	9,96	6,94	3,62
pH-H ₂ O (2:1)	10,5	10,2	9,9	8,7	8,5	8,4	8,4	8,4	10,2	8,6	7,8	7,6	7,5	7,5	7,5
pH-KCl-N (2:1)	10,4	8,6	8,1	8,0	7,9	7,8	7,7	7,6	8,6	7,5	6,8	6,8	6,8	6,6	6,4
pH-CaCl ₂ -0,01M(2:1)	10,8	9,7	9,1	8,5	8,3	8,3	8,3	8,2	9,7	9,1	8,2	8,2	8,1	8,0	8,0

* AAF = antes da aplicação do fosfogesso; S = K⁺ + Na⁺ + Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺; CIC = S + H⁺ + Al⁺⁺⁺; V = 100 S/CIC; SS = 100 Na⁺/S

SS = percentagem de saturação de sódio; V = percentagem de saturação de base; CIC = capacidade de troca catiônica.

4.2. Análises químicas do extrato de saturação da terra, antes e após a aplicação do fosfogesso

Analisando-se os resultados do extrato de saturação da terra (Tabela 6), antes da aplicação do fosfogesso, verificou-se um $\text{pH} = 10,5$, $\text{CE} = 22,61 \text{ mmhos/cm}$ e $\text{PST} = 97\%$, classificando-se este solo de salino-sódico de acordo com RICHARDS (1954) e MASSOUD (1971), que conferem esta classificação para os solos que tenham um $\text{pH} > 8,5$, $\text{CE} > 4,0 \text{ mmhos/cm}$ e um $\text{PST} > 15\%$. DAKER (1970) afirma que as altas concentrações de cloreto e de sódio são os principais responsáveis pela elevada condutividade elétrica enquanto que os altos pH se refletem no aumento dos compostos de bicarbonatos.

Comparando os resultados da análise do extrato de saturação antes da aplicação do fosfogesso e sessenta dias após a sua aplicação, observou-se que houve um efeito promissor na recuperação da terra, uma vez que o pH diminuiu de 10,5 para 8,3 (Figura 9) na dose-2, mostrando ainda que a partir desta dose a adição do corretivo pouco influenciou na redução, uma vez que na dose-6 o pH reduziu-o apenas para 8,0, resultados estes que estão de acordo com PEREIRA (1981) e CAVALCANTE (1984) ao estudarem solos com características semelhantes, ao usado neste trabalho e pertencente ao mesmo perímetro de irrigação.

Para os valores de condutividade elétrica (Figura 10) houve uma grande diminuição em relação ao tratamen-

Figura 9. Variação do pH no extrato de saturação da terra antes e sessenta dias após a aplicação do fosfogesso.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

Figura 10. Variação da CE a 25°C (mmhos/cm) no extrato de saturação da terra, antes e sessenta dias após a aplicação.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

to com dose-0 e dose-1, reduzindo de 22,61 para 0,97 e 0,68 mmhos/cm respectivamente.

A partir da dose-2 do corretivo, apesar dos valores observados para a CE ser bem inferiores a condição inicial, eles foram maiores que os observados para as doses-0 e 1. Os valores subiram de 2,87 (dose-2) até 3,63 mmhos/cm (dose-6) e esta elevação na condutividade elétrica da solução da terra com o aumento da dose de corretivo se deve aos elevados teores de sulfato de cálcio no corretivo, o que levou a um aumento substancial de cálcio na solução nas doses maiores. Observações semelhantes foram feitas por ABDEL SALAN (1983) e CAVALCANTE et alii (1984); FÖTH e TURK (1972) e ZAKHARIN et alii (1983).

Os valores obtidos para o sódio na solução mostram que ocorreu uma redução drástica no conteúdo de sódio no extrato de saturação com as doses-0 e 1 (Figura 11) de corretivo (após as lixiviações), com os teores decrescendo de 812,48 meq/l (condição inicial) para 27,65 meq/l na dose-0 (testemunha) e para 15,75 meq/l na dose-1. A partir da dose-2 de corretivo, os teores de sódio continuaram bem inferiores aos apresentados na condição inicial, porém não apresentaram a mesma tendência de decréscimo apresentadas nas doses-0 e 1, apresentando aliás, um ligeiro acréscimo em relação a dose-1. Isto vem de encontro às observações realizadas por RICHARDS (1954) e CAVALCANTE (1983) que verificaram que altas doses de gesso diminuem o efeito de correção da salinidade do solo.

Com relação ao cálcio observa-se que ocorreu

Figura 11. Variação do $\text{Na}^+; \text{Ca}^{++}; \text{Mg}^{++}$ e K^+ (meq/l) no extrato de saturação da terra, antes e sessenta dias após a aplicação do fosfogesso.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

um aumento crescente no teor deste nutrientes no extrato de saturação da terra com as doses de fosfogesso aplicadas. Estes resultados estão de acordo com diversos trabalhos apresentados na literatura, entre os quais RASMUSSEN et alii (1972) e HARKER et alii (1977) que também observaram aumento nos teores de cálcio no extrato de saturação com o aumento da dose de gesso, utilizada na redução de sódio trocável de solos sódicos. O aumento no teor de cálcio, com o aumento das doses no extrato de saturação, se deve a elevada concentração deste nutrientes no corretivo, de forma que, com isto sua concentração no meio aumentou substancialmente.

A Tabela 6 e Figura 12 mostram que houve uma redução do cloreto, bicarbonato e carbonato, como também um aumento do sulfato no solo com as doses de corretivo.

Comparando-se os resultados desse anions antes da aplicação de fosfogesso e aos sessenta dias após sua aplicação, verifica-se que os teores de cloreto diminuíram de 353,33 para 14,00 na dose-0; 3,00 na dose-1; 2,00 na dose-2; 1,50 na dose-3; 1,10 na dose-4; 1,00 na dose-5 e 0,88 meq/l na dose-6, os teores de bicarbonatos de 258,75 para 18,00 na dose-0; 10,50 na dose-1; 4,00 na dose-2; 2,50 na dose-3; 2,50 na dose-4; 2,20 na dose-5 e 2,50 meq/l na dose-6, os teores de carbonatos de 182,50 para 3,50 na dose-0; 1,50 meq/l na dose-1 e a partir da dose-2 o teor foi reduzido a zero (traços), comportamento idêntico também foram constatados por RASMUSSEN et alii (1972); KHOSLA e ABROL (1972); HARKER et alii

Figura 12. Variação do $\text{HCO}_3^-; \text{Cl}^-; \text{CO}_3^{--}$ e SO_4^{--} (meq/l) no extrato de saturação da terra, antes e sessenta dias após a aplicação do fosfogesso.

*AAF = antes da aplicação do fosfogesso.

Tabela 6. Análise química do extrato de saturação da terra antes da aplicação do fosfogesso (AAF) e sessenta dias após a aplicação.

Parâmetros	AAF*	TEMPO = 60 dias						
		TRATAMENTOS						
		1	2	3	4	5	6	7
pH	10,50	9,9	9,2	8,3	8,2	8,2	8,1	8,0
CE 25°C em mmhos/cm	22,61	0,97	0,68	2,87	2,89	2,91	3,49	3,63
Ca ⁺⁺ (meq/l)	0,24	0,20	1,00	9,60	18,00	23,20	24,00	24,40
Mg ⁺⁺ (meq/l)	0,12	0,20	0,35	0,50	0,65	0,65	0,70	0,80
Na ⁺ (meq/l)	812,48	27,65	15,75	22,55	25,13	29,52	33,21	33,62
K ⁺ (meq/l)	0,15	0,30	0,32	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07
SC (meq/l)	812,99	28,35	17,42	32,70	43,84	53,43	57,97	58,89
RAS (mmol/l) l/2	1915,03	61,82	19,17	10,03	8,23	8,55	9,45	9,47
PST (%)	97,60	56,49	28,22	16,62	13,88	14,38	15,75	15,78
Cl ⁻ (meq/l)	353,33	14,00	3,00	2,00	1,50	1,10	1,00	0,88
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	258,75	18,00	10,50	4,00	2,50	2,50	2,20	1,20
CO ₃ ⁼⁼ (meq/l)	182,50	3,50	1,50	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁼⁼ (meq/l)	16,74	3,24	10,24	21,58	38,87	42,23	52,53	54,22
SA (meq/l)	811,32	38,74	25,24	27,58	42,87	45,83	55,73	57,22

* AAF = antes da aplicação do fosfogesso; CE = condutividade elétrica; SC = soma de cátions; SA = soma de ânions; RAS = relação de adsorção de sódio; PST = percentagem de sódio trocável.

(1977) e CAVALCANTE (1984). Para o sulfato, observa-se também que houve uma diminuição no teor na análise feita antes da aplicação do fosfogesso e para sessenta dias após, uma vez que na dose-0 foi reduzida de 16,74 para 3,24 meq/l e a partir da dose-1, aumentando em ordem crescente conforme as doses do corretivo aplicadas, resultados que corroboram com observações de RICHARDS (1954), BERNSTEIN (1964) e CAVALCANTE (1984). Entretanto, os resultados apresentados mostram que a porcentagem de sódio trocável continua muito alta, chegando quase a superar 15%, valor este que limita a recomendação para a exploração da maioria das plantas cultivadas, RICHARDS (1954), RHODES (1968) e PEREIRA et alii (1980).

4.3. Determinações químicas das soluções lixiviadas

A redução da salinidade do solo, normalmente é feita baseada no extrato de saturação e do conteúdo de sódio trocável do solo. Nas correções com gesso, RICHARDS (1954) e PEREIRA et alii (1980), verificaram que as determinações químicas são efetuadas antes do início dos tratamentos com água ou corretivo químico e após determinado período que pode variar de quinze dias até vários anos de observações.

A primeira lixiviação que correspondeu a zero dia (imediatamente após a aplicação do fosfogesso), observou-se que a quantidade de água fornecida para percolar 300 ml de

solução, variou de 1200 ml nos vasos com ausência do corretivo que correspondeu a dose-0, para 600 ml nos tratamentos com as doses-1, 2, 3 e 4, enquanto que para as doses 5 e 6, observou-se que a adição do corretivo induziu o aumento da retenção da água, tendo em vista exigir maior volume de água e tempo para a lixiviação da mesma quantidade da solução. No tratamento testemunha, observou-se que houve uma redução na capacidade de infiltração, tendo em vista o excesso de sódio que provocou impermeabilização da água no solo. No entanto, com a aplicação do fosfogesso, constatou-se que além do mesmo ser um recuperador químico, aumentou a macroporosidade da terra, resultados estes coerentes com DUTT et alii (1972), PEREIRA e ANDRADE (1980), além de outros CAVALCANTE e SILVEIRA (1983).

Os valores obtidos nas determinações químicas realizadas nas soluções lixiviadas nos tempos: zero, vinte, quarenta e sessenta dias, estão nas Tabelas 7 e 8 e ilustradas nas Figuras 13 a 22.

Os resultados obtidos para o pH, mostram que o corretivo teve um efeito acentuado na redução até a dose-4, estabilizando-se a partir daí. As maiores reduções nos valores do pH das soluções lixiviadas foram observadas nas análises realizadas aos quarenta dias após a aplicação do fosfogesso, conforme mostra a Figura 13. Nas quatro lixiviações (Tabelas 7 e 8) observa-se que o pH decresceu de 10,5 para 9,8 na dose-0; 9,1 na dose-1; 8,3 na dose-2; 8,1 na dose-3 e estabilizando-se em 8,0 a partir da dose-4.

Figura 13. Variação do pH na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Na Figura 14 observa-se uma redução da condutividade elétrica com o tempo e com as lixiviações, com os valores permanecendo muito próximos entre as diferentes doses do corretivo aplicado. No entanto, a medida em que se foi realizando as lixiviações, foi se constatando reduções na condutividade elétrica, sendo estas mais intensas de zero para vinte dias e de vinte para quarenta dias, e pequena de quarenta para sessenta dias após a aplicação do corretivo. Este decréscimo mostra que as lixiviações tiveram efeito na redução da concentração de sais no solo.

Com as lixiviações efetuadas, verificam-se nas Tabelas 7 e 8 que no tratamento onde não utilizou-se o fosfogesso, a condutividade elétrica diminuiu de 43,00 para 3,44 mmhos/cm e a soma de cátions de 3034,20 para 59,46 meq/l, enquanto que no tratamento onde utilizou-se a maior dosagem do corretivo, a condutividade elétrica diminuiu apenas para 6,48 mmhos/cm e a soma de cátions para 146,89 meq/l, resultados estes coerentes com RICHARDS, 1954 e DAKER, 1970 e entre outros CAVALCANTE (1984). Observa-se ainda que a relação de adsorção de sódio, diminuiu de 7983,26 para 95,57 na dose-0; 53,85 na dose-1; 28,06 na dose-2; 28,88 na dose-3; 32,35 na dose-4; 33,66 na dose-5 e $34,23 \text{ (mmol/l)}^{1/2}$ na dose-6.

As concentrações de cálcio (Figura 15) mostram um aumento nas soluções lixiviadas. Tal fato se deve em parte às doses de corretivo que proporcionaram um aumento na concentração de cálcio no solo, e com isto o cálcio ficou mais

Figura 14. Variação da CE a 25°C (mmhos/cm) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Figura 15. Variação da concentração de Ca^{++} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

exposto as lixiviações; outro fato foi que com o tempo este elemento teve sua solubilidade aumentada e com isso também sofreu maior lavagem, podendo ser constatado ao observar-se os valores da primeira lixiviação em relação as demais.

No que se refere ao efeito das doses, verifica-se que na primeira lixiviação (imediatamente após a aplicação do fosfogesso), os efeitos do corretivo são mais pronunciados a partir da dose-3, enquanto que a partir da segunda lixiviação este efeito já se faz pronunciado na dose-2, enquanto que nas doses-4, 5 e 6 apesar de se verificarem acréscimos nos teores de cálcio, estes são muito pequenos, indicando que a dose-3 parece ser a que proporcionou melhor resposta em termos de aumento de solubilidade e que a partir daí os aumentos não corresponderam em termos de resposta, a dose de fosfogesso aplicada.

Para o magnésio (Figura 16), verificou-se um aumento nos teores desse elemento nas soluções lixiviadas à medida em que aumentou-se as doses de fosfogesso. Os valores observados nas análises realizadas das soluções colhidas imediatamente após a aplicação do fosfogesso e aos quarenta dias após, são bem próximos e menores que os observados aos vinte dias. No entanto, mesmo nos resultados observados aos vinte dias observou-se a tendência de aumento nos teores de magnésio à medida em que houve o aumento da dose de fosfogesso.

Os valores observados para o potássio (Figura 17), mostram um comportamento quase estável em relação às do-

Figura 16. Variação da concentração do Mg^{++} (meq/l) na solução lixiviada, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Figura 17. Variação da concentração do K^+ (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

ses de fosfogesso aplicadas, evidenciando que o corretivo não aumentou a solubilidade desse elemento no solo, o que de certa forma é muito benéfico, tendo pois uma importância prática muito grande, uma vez que ao se fazer a correção de um solo salino-sódico não se pode correr risco de estar causando seu empobrecimento pela lavagem.

As alterações ocorridas com a concentração de sódio nas soluções lixiviadas, tanto após a aplicação do fosfogesso como nos diferentes períodos de análises estão contidos nas Tabelas 7 e 8 e ilustrados na Figura 18.

Verifica-se que os teores de sódio analisados imediatamente após a aplicação do fosfogesso decresceram com a dose aplicada, exceção feita para as duas maiores doses que apresentaram pequenas alterações nessa tendência, apesar dos valores serem bem inferiores, ao da condição inicial.

O maior efeito na redução desse elemento foi verificado através das lixiviações onde os valores decresceram de 3033,64 meq/l (primeira) para 52,28 meq/l (terceira). Este decréscimo mostra a eficiência da água no processo de lavagem de sais, fato este que é evidenciado na literatura por RICHARDS (1954), RHODES (1968) e MOZHEIKO (1969).

No entanto, o processo de lavagem, apesar de prático é caro e porisso não permite sua utilização em larga escala, além de exigir: adequadas condições de drenagem do solo, água de qualidade aceitável para irrigação e fertilização após o processo de lavagem.

Figura 18. Variação da concentração de Na^+ (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Os teores de cloretos, bicarbonatos e carbonatos decresceram com as lixiviações e com as doses aplicadas de fosfogesso, enquanto que o sulfato decresceu com as lixiviações, mas aumentou com a aplicação do corretivo, podendo ser observado nas Figuras 19 a 22.

Comparando-se os valores da testemunha, com tratamentos onde se aplicou o corretivo, observa-se uma acentuada redução nos teores de Cl^- , HCO_3^- e CO_3^{--} , indicando a eficiência do fosfogesso na precipitação destes ânions. Por outro lado, os elevados teores de SO_4^{--} no corretivo proporcionou um aumento deste ânion na solução lixiviada, com o aumento das doses aplicadas, isto porque ao se aumentar sua concentração no meio, sua solubilidade deve ter sofrido aumento.

Com o tempo, de zero a sessenta dias, ainda se verificou decréscimos na concentração dos ânions cloretos e bicarbonatos em todos os tratamentos que a partir dos vinte dias a concentração de carbonato chegou a zero a partir da dose-2 do corretivo, o que indica que já na dose-2 o fosfogesso foi eficiente para precipitar este ânion e que com a primeira lixiviação já ocorreu sua completa lavagem naqueles tratamentos. Estes resultados estão de acordo com as observações de CAVALCANTE (1984) que estudando o mesmo solo verificou que o fosfogesso provocou diminuição nas concentrações de Cl^- , HCO_3^- e CO_3^{--} com três solos e o aumento da concentração de SO_4^{--} , com níveis atingindo valores adequados para permitir o desenvolvimento das plantas.

Figura 19. Variação da concentração de Cl^- (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Figura 20. Variação da concentração do HCO_3^- (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Figura 21. Variação da concentração do CO_3^{--} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Figura 22. Variação da concentração do SO_4^{--} (meq/l) na solução lixiviada da terra, de acordo com as doses de fosfogesso nos diferentes tempos.

Tabela 7. Valores determinados nas soluções lixiviadas referente aos tempos; zero (imediatamente após a aplicação) e aos vinte dias após a aplicação do fosfogeno.

Parâmetros	TEMPO = 0 (zero) dias							TEMPO = 20 dias						
	TRATAMENTOS							TRATAMENTOS						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
pH	10,1	9,3	8,6	8,4	8,2	8,1	8,1	10,1	9,1	8,7	8,6	8,6	8,5	8,5
CE 25°C (mbos/cm)	43,00	39,41	39,23	34,86	36,88	36,98	39,51	21,46	19,60	17,18	14,76	17,74	15,35	15,42
Ca ⁺⁺ (mg/l)	0,10	0,61	0,99	7,37	8,58	11,53	12,10	0,80	9,20	19,87	20,40	22,40	22,13	22,67
Mg ⁺⁺ (mg/l)	0,19	0,39	0,43	0,45	0,51	0,53	1,10	0,90	1,53	2,56	2,53	2,67	2,67	2,73
Na ⁺ (mg/l)	3033,64	2510,22	2250,22	1900,19	1777,19	1855,54	2149,97	585,69	497,16	412,08	331,99	450,42	350,35	422,92
K ⁺ (mg/l)	0,27	0,27	0,23	0,21	0,24	0,26	0,30	0,21	0,22	0,14	0,12	0,22	0,11	0,15
SC (mg/l)	3034,20	2511,49	2251,87	1908,22	1786,52	1867,86	2162,48	587,30	508,11	434,65	355,04	475,71	375,26	448,47
FS (mg/l) ^{1/2}	7983,26	3550,52	2674,43	961,15	833,58	753,82	836,89	635,13	214,66	123,19	98,05	127,23	99,53	118,79
Cl ⁻ (mg/l)	1090,00	770,00	830,00	615,00	710,00	755,00	780,00	170,00	110,00	90,00	60,00	100,00	51,67	57,50
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1066,67	268,33	102,00	72,00	63,00	80,33	100,33	420,00	12,17	7,67	7,33	7,00	7,00	6,00
CO ₃ ⁻ (mg/l)	860,00	126,67	27,00	1,00	4,00	4,00	4,00	5,00	260,00	2,00	-	-	-	-
SO ₄ ⁻ (mg/l)	18,87	46,96	45,45	47,37	53,67	59,52	66,20	17,00	38,36	76,00	84,00	91,86	113,69	149,98
SA (mg/l)	3035,54	1211,96	1004,45	738,37	830,67	898,85	951,53	867,00	162,53	173,67	151,33	198,86	172,36	213,48

CE = condutividade elétrica; FS = resolução de adsorção de sódio; SC = soma de cátions; SA = soma de ânions; NG = necessidade de gesso.

Tabela 8. Valores determinados nas soluções lixiviadas referente aos tempos: quarenta e sessenta dias após a aplicação do fosfógeno.

Parâmetros	TEMPO = 40 dias							TEMPO = 60 dias						
	TRATAMENTOS							TRATAMENTOS						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
pH	9,8	9,3	8,4	8,1	8,0	8,0	8,0	9,8	9,2	8,3	8,2	8,2	8,1	8,0
CE 25°C (mmhos/cm)	5,10	4,50	6,50	7,50	7,80	7,60	5,80	3,44	2,20	5,46	5,72	6,34	6,09	6,43
Ca ⁺⁺ (meq/l)	0,40	1,13	14,13	17,67	19,07	20,27	21,80	0,32	2,20	19,20	21,07	21,80	22,40	23,80
Mg ⁺⁺ (meq/l)	0,20	0,21	0,74	0,86	1,06	1,26	1,23	0,25	0,40	0,66	0,79	1,13	2,38	1,43
Na ⁺ (meq/l)	52,28	62,31	100,16	132,32	133,33	139,98	151,76	58,29	61,40	88,44	95,48	109,55	115,08	121,56
K ⁺ (meq/l)	0,60	0,52	0,10	0,10	0,14	0,10	0,12	0,60	0,50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
SC (meq/l)	53,48	64,17	115,13	150,95	153,60	161,61	175,96	59,46	64,50	108,44	117,44	132,58	139,96	146,89
RS (mmol/l) ^{1/2}	95,57	76,17	36,74	43,48	42,03	42,66	44,67	109,36	53,85	28,06	28,88	32,55	33,66	34,33
Cl ⁻ (meq/l)	16,25	8,75	6,25	8,75	6,25	6,25	8,75	16,15	5,00	4,00	4,50	4,50	5,00	5,50
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	90,00	20,50	7,00	5,50	5,50	5,00	3,50	88,43	30,00	11,50	9,50	9,00	8,00	9,00
CO ₃ ⁻ (meq/l)	55,00	2,50	-	-	-	-	-	52,00	3,00	-	-	-	-	-
SO ₄ ⁻ (meq/l)	12,00	36,95	50,79	64,95	72,09	85,53	84,45	8,73	16,73	76,62	79,28	82,64	90,45	98,85
SA (meq/l)	173,25	68,70	64,07	79,20	83,84	96,83	96,70	165,31	54,73	92,12	93,28	96,14	103,45	113,35

CE = condutividade elétrica; RS = resolução de adsorção de sódio; SC = soma de cátions; SA = soma de ânions; NC = necessidade de gesso.

4.4. Efeitos sobre as plantas

4.4.1. Germinação, altura de plantas e produção de matéria seca

Na Tabela 9 e Figura 23 são apresentados os resultados obtidos para os efeitos do corretivo e da salinidade do solo sobre a germinação, altura de plantas e produção de matéria seca do feijão e do sorgo.

A análise de variância dos dados, mostram valores significativos ao nível de 5% para a germinação, altura de plantas e matéria seca produzida para as duas culturas.

Para o feijão, verificou-se que as sementes não conseguiram germinar no solo onde não houve aplicação do corretivo. No entanto, com a aplicação, observou-se que nas doses-1 e 2 a germinação foi significativamente inferior às doses subsequentes, e, já na dose-3 ocorreu uma germinação máxima do feijão.

As sementes do sorgo apresentaram-se menos sensíveis à salinidade, germinando mesmo onde não aplicou-se o corretivo. No entanto, a salinidade foi tão elevada que não permitiu o desenvolvimento das plantas.

Por outro lado, a partir da dose-1 de corretivo, a germinação já se mostrou bastante elevada, não havendo diferenças significativas entre os resultados apresentados para os diferentes tratamentos. Para esta planta, observou-

se que inicialmente a salinidade afetou a taxa de germinação, com as percentagens iniciais sendo significativamente inferiores as demais.

Estes resultados, concordam com PRISCO et alii (1976), que trabalhando com solução nutritiva de cloreto de sódio, observaram que o sorgo mostrou-se mais tolerante a salinidade que o feijão na fase germinativa, o que é comprovado no presente trabalho, onde se obteve 56% de germinação para o sorgo e 0% para o feijão num solo salino em ausência de corretivo. No entanto, há estudos afirmando que a germinação não é geralmente mais sensível aos efeitos dos sais do que os estádios posteriores de crescimento (BERNSTEIN e HAYWARD, 1958; GEORGE, 1967 e WEST e TAYLOR, 1981).

A aplicação do corretivo afetou significativamente a altura das plantas, sendo que no tratamento testemunha, não verificou desenvolvimento das mesmas.

Para o feijão, a altura das plantas apresentou um comportamento semelhante em relação a quase todas as doses do corretivo, exceto para a dose-1, cujo efeito foi inferior.

Para o sorgo verificou-se que a dose-2 de corretivo, correspondeu numa maior altura de plantas diferindo significativamente das demais; e que na dose mais alta o crescimento das plantas foi significativamente inferior aos tratamentos que receberam as doses-1, 2 e 5, porém, não diferindo das doses-3 e 4. Os resultados obtidos para altura de plantas de sorgo sugerem ser a dose-2 a mais adequada para a cor-

reção da salinidade, permitindo o melhor desenvolvimento aparente das plantas.

O não crescimento das espécies estudadas no tratamento que não sofreu correção, mostra a grande importância do fenômeno salinidade no processo de germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas, e justifica o uso dos diversos meios com a finalidade de eliminar esta limitação.

Estes resultados estão de acordo com os de BERNSTEIN (1964); STROGO NOV (1964) e FENN et alii (1970), que afirmam que os sais exercem efeitos prejudiciais ao crescimento das plantas, através da toxidez de um ou mais íons presentes em concentrações relativamente elevadas. Enquanto PRISCO et alii (1975), constataram uma diminuição no crescimento médio das plântulas de sorgo, quando se aumentava a salinidade.

A produção da matéria seca das plantas de feijão e sorgo, foram significativamente afetadas com a aplicação das doses excessivas do corretivo, conforme pode-se verificar na Tabela 9 e Figura 23.

Para o feijão apesar dos efeitos não mostrarem uma tendência bem definida, a dose-2 proporcionou a maior produção de matéria seca por planta, diferindo significativamente das demais doses. A dose-1 equivalente a 20% da necessidade de gesso foi insuficiente para proporcionar um bom desenvolvimento das plantas, causando uma diminuição na produção da matéria seca podendo-se atribuir possivelmente ao efeito da

Figura 23. Relação entre germinação (%), altura de plantas (cm), matéria seca produzida (g) e doses de fosfógeno aplicadas (%).

salinidade ainda presente no solo. Isto vem de encontro as observações de KHOSLA e ABROL (1972) que estudando o desenvolvimento de plantas num solo salino sódico, forneceram gesso nas proporções de 25, 50, 100 e 200% da necessidade de cálcio e concluíram que os melhores resultados corresponderam a níveis de 50% da necessidade de gesso aplicado.

Por outro lado, para as doses elevadas de fosfogesso (Figura 23), observou-se uma diminuição na matéria seca, tanto no caso do feijão como para o sorgo, possivelmente em decorrência de um desequilíbrio dos níveis elevados de cálcio e enxofre, que podem ter afetado o balanço de cálcio, magnésio e potássio. Estes resultados estão coerentes com CAVALCANTE et alii (1984) ao concluírem que a matéria seca produzida por plantas de feijão decaiu com o suprimento de fosfogesso acima de 100% da necessidade de gesso.

Para o sorgo, a dose -2 proporcionou um maior desenvolvimento das plantas, sendo que os resultados para as doses mais elevadas não evidenciaram uma tendência de finida que mostrasse o efeito do corretivo no desenvolvimento das plantas. Pelos resultados apresentados, a dose-2 parece ser mais adequada que a dose-1, a qual não mostrou-se suficiente para evitar os efeitos da salinidade no crescimento das plantas. As análises de regressão realizadas, não mostraram efeitos significativos do corretivo sobre a germinação, altura e produção de matéria seca das plantas, tanto para o feijão como para o sorgo.

Tabela 9. Valores percentuais médios e diferença mínima significativa (DMS) pelo teste de TUKEY (probabilidade $\leq 0,05$) correspondentes a germinação, altura de plantas e matéria seca produzida de feijão vigna e sorgo forrageiro.

Tratamentos	Dose	GERMINAÇÃO (%)		ALTURA DE PLANTAS (cm)		MATÉRIA SECA (g/vaso)	
		Feijão	Sorgo	Feijão	Sorgo	Feijão	Sorgo
1	0	-	48,92b	-	-	-	-
2	1	77,71b	78,92a	24,2b	18,4bc	4,3f	6,6c
3	2	77,71b	75,00a	30,9a	20,6a	7,9a	11,5a
4	3	90,00a	76,92a	29,5a	17,5cd	5,3d	9,7ab
5	4	90,00a	72,29ab	2,0a	18,1bcd	7,3b	9,6b
6	5	90,00a	83,85a	29,5a	18,6b	6,7c	10,4ab
7	6	90,00a	75,00a	29,8a	17,3d	5,3e	7,5c
DMS (Tukey 5%)		10,64	24,43	2,79	0,99	0,22	1,88
C.V. (%)		7,15	21,01	5,58	3,92	1,98	14,89

Obs.: a) Os dados de percentagem de germinação foram transformados em $\arcsin \sqrt{x/100}$.

b) Traço significa valor zero, tratamento não incluído nos estudos estatísticos.

c) Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

4.4.2. Absorção de macronutrientes e sódio

Na Tabela 10 são apresentados os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio totais da parte aérea das plantas de feijão e sorgo em função das doses de fosfogesso aplicadas e apresentadas na Figura 24.

Verificou-se que, para os conteúdos de nitrogênio no feijão as doses-1, 2, 3 e 5 apresentaram teores mais elevados, não diferindo estatisticamente entre si, sendo no entanto, superiores aos obtidos na dose-6. A dose-4 correspondeu a um teor intermediário de nitrogênio, sendo superior a dose-6 e inferior a dose-2.

Pelos dados da literatura, são citados conteúdos de 2 a 5% de N como teores médios para a grande maioria das leguminosas (MALAVOLTA, 1974). Fica evidenciado pelos valores obtidos para o feijão que o nitrogênio possivelmente não foi limitante para a produção, e provavelmente, esses conteúdos elevados possam ser atribuídos também a um efeito de concentração decorrente do crescimento reduzido das plantas.

SAMENI et alii (1980) observaram também em feijoeiro, que o crescimento e absorção de nitrogênio pelas plantas foram afetados pela salinidade, mesmo com baixo teor de sódio no solo.

Para o sorgo, observou-se que as doses-1, 2, 4 e 5 mostram conteúdos mais elevados de nitrogênio, enquanto que nas doses-3 e 6 os conteúdos foram mais baixos e inferiores às doses-2 e 5.

Na Figura 24, através das análises de regressão observa-se que houve um efeito linear e negativo das doses de fosfogesso sobre os conteúdos de nitrogênio na parte aérea do feijão, variando de acordo com a equação ($y = 0,0058x + 5,4562$), onde y representa os teores de nitrogênio (%) e x as doses de fosfogesso aplicadas (%); para o sorgo não se verificou uma tendência definida de aplicação das doses de fosfogesso sobre os conteúdos de nitrogênio, porquanto a análise de regressão não mostrou efeitos significativos.

Quanto ao fósforo, observou-se que a maior absorção ocorreu nas plantas que foram cultivadas com a dose-1 do corretivo e a partir da dose-2 ocorreu um decréscimo na percentagem desse elemento na matéria seca das plantas. Este decréscimo foi contínuo com as doses crescentes, o que sugere que doses mais elevadas de fosfogesso causem inibição na absorção do fósforo pelas plantas. Isto em parte pode ser explicado pelo elevado teor de cálcio no corretivo e este, deslocando o sódio, pode ser fixado na solução e combinado com o fosfato, formando fosfatos de cálcio insolúveis, cuja absorção pelas plantas é nula ou muito baixa. Esta tendência foi observada também por JACOBY (1964); RAVIKOVITH e PORATH (1967); LUNIN e GALLANTINI (1968); EL KADI et alii (1977) e MEDEIROS (1982).

Para o sorgo a dose-1 do corretivo proporcionou uma maior absorção de fósforo pelas plantas, enquanto que com

o aumento das doses, observou-se a diminuição do teor de fósforo na matéria seca. Este fato das doses elevadas de corretivos diminuírem a absorção desse elemento na matéria seca, tanto do feijão como do sorgo, sugerem que há uma importância muito grande na utilização de uma dose adequada do corretivo, de forma que doses excessivas não venham prejudicar o desenvolvimento das plantas.

Na Figura 24, verifica-se as análises de regressão tanto para o feijão como para o sorgo. Para o feijão os acréscimos nos conteúdos de fósforo com as doses de fosfogesso obedecem um efeito quadrático de acordo com a equação ($y = 0,00005x^2 - 0,0171x + 1,3955$); para o sorgo, houve um efeito linear e negativo das doses de fosfogesso sobre os conteúdos de fósforo na matéria seca produzida, conforme verifica-se na equação ($y = -0,00005x + 1,1657$).

Quanto ao potássio, observa-se que as doses de fosfogesso afetaram significativamente sua absorção através da matéria seca do feijão, aumentando até a dose-4 e decrescendo a partir daí, mostrando um desequilíbrio na relação Ca/K, o que pode comprometer a nutrição da planta. Esses dados estão coerentes com BERNSTEIN (1964) ao afirmar que os efeitos da salinidade variam com as espécies e numa mesma espécie entre variedades. O feijão, por exemplo, é sensível aos sais, em virtude do que, em meios salinos, extrai maiores concentrações de cálcio ou de sódio do que uma planta tolerante ao ponto de provocarem desequilíbrio na relação Ca/K, comprometendo a nutrição das mesmas.

Para o sorgo observou-se que as doses-1 e 6 mostraram conteúdos mais elevados de potássio, não diferindo estatisticamente entre si, enquanto que as doses-2, 3, 4 e 5 evidenciaram uma redução do teor de potássio e um desequilíbrio significativo na relação Ca/K.

Na Figura 24, observa-se que para o feijão houve um efeito quadrático e negativo com as doses do fosfogesso aplicadas, conforme a equação ($y = -0,0001x^2 + 0,024x + 1,5523$), enquanto que para o sorgo não ocorreu efeito significativo.

Na Tabela 11 são apresentados os valores referentes aos conteúdos de cálcio, magnésio, enxofre e sódio totais, na parte aérea das plantas de feijão e sorgo, em função das doses de fosfogesso aplicadas, os quais estão ilustrados, através das equações de regressão na Figura 25.

Para o feijão, já com a dose-2 do corretivo (24,8g de fosfogesso/kg de solo) se verificou uma alta absorção de cálcio pelas plantas, sendo que a partir desta dose até a máxima aplicada não ocorreram diferenças significativas entre os conteúdos de cálcio na parte aérea das plantas. Nos tratamentos 3, 4, 5, 6 e 7 observa-se que o conteúdo de cálcio na parte aérea apresentou-se significativamente superior aos apresentados pelas plantas no tratamento 2 (dose-1 de fosfogesso).

Como pode ser observado na Figura 25, não foi possível adequar uma equação de regressão que ilustrasse a

Figura 24. Relação entre percentagens totais absorvida de nitrogênio, fósforo, potássio e doses de fosfogesso aplicadas.

Tabela 10. Teores percentuais médio e diferenças mínima significativa (DMS) pelo teste de TUKEY (probabilidade $\leq 0,05$) correspondentes a NPK absorvido por plantas de feijão vigna e sorgo forrageiro.

Tratamentos	Dose	NITROGÊNIO (%)		FÓSFORO (%)		POTÁSSIO (%)	
		Feijão	Sorgo	Feijão	Sorgo	Feijão	Sorgo
1	0	-	-	-	-	-	-
2	1	5,20ab	1,56ab	1,14a	0,18a	2,06c	1,43a
3	2	5,40a	1,60a	0,73b	0,13b	2,30c	0,97d
4	3	5,00ab	1,35b	0,53bc	0,12b	2,42bc	1,05cd
5	4	4,90b	1,53ab	0,36cd	0,14b	3,06a	1,13bcd
6	5	5,00ab	1,56ab	0,32cd	0,11bc	2,86ab	1,20bc
7	6	4,30c	1,36b	0,22d	0,07c	2,19c	1,29ab
<hr/>							
DMS (Tukey 5%)		0,45	0,22	0,22	0,04	0,51	0,21
C.V. (%)		5,26	8,46	23,23	17,54	11,85	10,19

Obs.: a) Traço significa valor zero, tratamento não incluído nos estudos estatísticos.

b) Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

absorção do cálcio em função da dose do corretivo aplicada, tendo em vista a não significância da equação.

Para o sorgo, as doses-2, 3, 4 e 5 do corretivo proporcionaram uma maior absorção de cálcio pelas plantas, sendo que os teores diferiram significativamente daqueles apresentados pelas plantas equivalentes as doses-1 e 6, porém não diferiram significativamente entre si.

Do mesmo modo que ocorrem para o feijão, também neste caso, como pode ser observado na Figura 25 não foi possível obter uma equação que mostrasse a absorção deste nutriente em função das doses de fosfogesso aplicadas.

Para as duas culturas a partir da dose-2 de corretivo (exceção para o sorgo na dose-6), se observaram aumentos na absorção de cálcio com doses maiores de corretivo em relação a menor dose aplicada.

Com relação ao magnésio, as plantas de feijão apresentaram um aumento na matéria seca da parte aérea até na dose-3 do corretivo, decrescendo a partir daí. O teor de magnésio nas plantas com a dose-3 foi significativamente superior aos demais, enquanto que nas doses maiores os valores foram decrescentes porém sem diferirem significativamente entre si.

Já para o sorgo os valores foram crescentes até a dose-5, decrescendo com a dose-6. Os teores apresentados pelas plantas que receberam as doses-2, 3, 4 e 5 foram significativamente superiores aos apresentados nas doses-1 e 6,

porém não diferiram significativamente entre si. Apenas para o sorgo obteve-se uma equação de regressão ilustrativa da absorção de magnésio pelas plantas como pode ser observado na Figura 25.

Para o enxofre, os teores apresentados na parte aérea das plantas de feijão são decrescentes da dose-1 para a dose-6 de corretivo.

Estas observações contrariam o que foi observado para a terra, uma vez que o conteúdo de enxofre na terra aumentou com as doses de corretivos aplicadas. Isto sugere uma inibição na absorção do nutriente pela elevação de seu teor na terra, onde altas concentrações poderiam desfavorecer a absorção.

Para o sorgo verificou-se uma tendência de acréscimo na concentração de enxofre na matéria seca da parte aérea da dose-1 até a dose-3 de corretivo, sendo que a partir daí ocorreu um decréscimo com as doses-4, 5 e 6, sendo que nas doses-5 e 6 as plantas apresentaram teores de enxofre significativamente inferiores aos apresentados pelas plantas nos demais tratamentos.

Os conteúdos de Ca^{++} , Mg^{++} e S na matéria seca da parte aérea das plantas de feijão, mesmo nos tratamentos que apresentam valores mais elevados 2,21%, 0,61% e 0,32% respectivamente, são muito inferiores àqueles indicados para plantas normais 4,01%, 0,86% e 0,81%, conforme MALAVOLTA (1974). Isto sugere que mesmo com a aplicação do corretivo, os efei-

tos do sódio inibindo a absorção de nutrientes como cálcio e magnésio ainda persistiam no solo, o que concorda com RUSSEL e RUSSEL (1973), que relata que altas concentrações de sódio pode diminuir a absorção de potássio, cálcio e magnésio pelas plantas. Ainda os valores obtidos mostrando teores inferiores aos apresentados pelas plantas normais, também concordam com observações de EL KADI et alii (1977) e MEDEIROS (1982) para feijão vigna, que verificaram que a salinidade do solo inibe a absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pelas plantas.

Para o sódio, as doses de corretivo afetaram significativamente a absorção deste elemento pelas plantas de feijão. Na dose-1 de corretivo se observou o maior conteúdo deste elemento na parte aérea do feijoeiro, decrescendo até a dose-3 quando a partir daí não mais se diferiram significativamente entre si.

O decréscimo na concentração do sódio na matéria seca das plantas de feijão é ilustrado pela Figura 25, através da equação $y = 0,0001x^2 - 0,0363x + 3,4816$. Este decréscimo do sódio na matéria seca das plantas pode ser justificado pelo decréscimo no conteúdo deste elemento no solo com o aumento das doses de corretivo.

Para o sorgo, na dose-1 de fosfogesso também as plantas apresentaram o maior teor de sódio na matéria seca da parte aérea, ocorrendo depois um decréscimo acentuado com a dose-2, e continuando a decrescer com as doses-3, 4, 5 e 6.

Figura 25. Relação entre percentagens totais absorvida de cálcio, magnésio, enxofre e sódio, doses de fosfogesso aplicadas.

Tabela 11. Teores percentuais médios e diferenças mínimas significativas (DMS) pelo teste de TUKEY (probabilidade $\leq 0,05$) correspondentes a Ca, Mg, S e Na absorvidos por plantas de feijão vigna e de sorgo forrageiro.

Tratamentos	Dose	CÁLCIO (%)		MAGNÉSIO (%)		ENXOFRE (%)		SÓDIO (%)	
		Feijão	Sorgo	Feijão	Sorgo	Feijão	Sorgo	Feijão	Sorgo
1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	1,16b	0,42c	0,34d	0,28a	0,32a	0,18ab	3,13a	1,05a
3	2	2,12a	0,87a	0,52b	0,32a	0,28ab	0,20a	1,98b	0,44b
4	3	2,21a	0,85a	0,61a	0,36a	0,26b	0,22a	1,35c	0,39b
5	4	2,18a	0,88a	0,46bc	0,36a	0,27b	0,18ab	1,55c	0,38bc
6	5	2,09a	0,83a	0,43c	0,37a	0,25b	0,15b	1,49c	0,22cd
7	6	2,19a	0,59b	0,40cd	0,26b	0,25b	0,14b	1,57c	0,11d
<hr/>									
DMS (Tukey 5%)		0,28	0,16	0,06	0,04	0,05	0,04	0,40	0,16
C.V. (%)		8,04	12,91	8,13	7,74	10,35	13,44	12,25	21,68

Obs.: a) Traço significa valor zero, tratamento não incluído nos estudos estatísticos.

b) Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Apesar de serem espécies diferentes, analisando a absorção de sódio pelas plantas de feijão e de sorgo, verificou-se que em todas as doses as plantas de sorgo absorveram sempre menos quantidades de sódio que as de feijão, o que sugere que deve haver uma seletividade na absorção do elemento entre estas duas diferentes espécies.

Para o sorgo a análise de regressão é representada na Figura 26 através da equação ($y = -0,0039x + 0,7591$).

Os resultados obtidos concordam com as observações realizadas por EL GABALY (1955) e CAVALCANTE (1984) que observaram que o fornecimento de fosfogesso, ocorrem redução nos teores de sódio trocáveis no solo e com isto, menor absorção deste elemento pelas plantas.

4.5. Considerações finais

Apesar dos resultados indicarem um efeito positivo do fosfogesso sobre a lixiviação de sais na terra, as observações visuais não constatarem florescimento e frutificação em nenhuma das culturas, ocorrendo um amarelecimento e posteriormente uma queda das folhas em todos os tratamentos, principalmente em maior intensidade nos 2, 5, 6 e 7. Possivelmente, o excesso de cálcio com a solubilização do fosfogesso tenha provocado desequilíbrio iônico desse elemento em relação aos outros cátions, afetando a nutrição mineral das plan

tas (BERNSTEIN (1964) e CAJUSTE (1977); ou mesmo o excesso de sulfato, pelo mesmo motivo tenha condicionado a formação de ácido sulfídrico (OPREA et alii, 1969) que é tóxico à maioria das plantas cultivadas.

Um outro aspecto a considerar é que, em geral, a recuperação de solos afetados por sódio, é lenta e onerosa, motivo pelo qual deve-se fracionar o máximo possível a quantidade de gesso ou material que contenha cálcio e enxofre, visando minimizar o problema, uma vez que a solubilidade do gesso em água é bastante baixa e lenta.

Quanto ao modo de aplicação considera-se muito importante, principalmente tendo em vista a literatura apresentar resultados conflitantes quanto as aplicações desse corretivo na superfície e incorporado ao solo. Entretanto, o maior objetivo de usar-se o fosfogesso ou outro tipo de corretivo é com a finalidade de prevenir que solos ainda produtivos não se tornem imprestáveis a agricultura, o que também tem sido recomendado por vários outros autores como KHOSLA e ABROL (1972), PEREIRA e SILVA (1977) e CAVALCANTE (1984).

5. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos, foi possível concluir que:

1. Independente da dose aplicada, o fosfogesso reduziu os teores de sódios, cloretos, bicarbonatos, carbonatos, condutividade elétrica e pH;
2. As lixiviações utilizadas foram eficientes na lavagem de sais do solo, mas não diminuíram o pH e a salinidade a níveis de permitir o desenvolvimento das plantas;
3. O fosfogesso favoreceu a germinação das sementes e o desenvolvimento das plantas.
4. A dose correspondente a 40% da necessidade máxima do fosfogesso, para corrigir o solo, foi a que se mos-

trou mais eficiente, pois condicionou maior crescimento e maior quantidade de matéria seca produzida tanto para o feijão como para o sorgo.

6. LITERATURA CITADA

ABDEL SALAM, M.A., 1983. Uso de gesso na correção de solos alcalinos do Egito. Tradução para a língua portuguesa de CAVALCANTE, L.F. Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Solos. Ano V. CCA/UFPB/Areia-PB, 40-60.

BERNSTEIN, L., 1964. Salt tolerance of plants. USDA. Informe Bull., Madison, nº 238. 23p.

BERNSTEIN, L. e H.E. HAYWARD, 1958. Physiology of salt tolerance. Ann. Rev. Plant Physcology, Lancaster, 9: 25-46.

BLAKE, G.R., 1965. Bulk density. Agronomy monograph. Amer. Soc. Agronomy, New York, Port., 1: 374-388.

CAJUSTE, L.J., 1977. Química de Suelos con un enfoque agrícola. Colégio de Post Graduados. Chapingo, México, 1ª ed. 278p.

CAVALCANTE, L.F., 1980. Avaliação da qualidade da água de nove açudes paraibanos. Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Solos, Areia-PB, 1-8.

- CAVALCANTE, L.F., 1982. Sais na água, no solo e nas plantas. Boletim Científico, BC-002, CCA/UFPB, Areia-PB, 62p.
- CAVALCANTE, L.F., 1984. Efeito do fosfogesso em solos salinizados da Paraíba cultivados com feijão vigna (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Piracicaba-SP, ESALQ/USP. 94p. (Tese de Doutorado).
- CAVALCANTE, L.F.; F.P. de SOUSA e J.J. AMARO FILHO, 1982. Evolução de sais e adequabilidade da água do açude, Jatobá - I Patos-PB, em distintas épocas do ano. Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Solos, CCA/UFPB, Areia-PB, 36-59.
- CAVALCANTE, L.F. e R.I. SILVEIRA, 1983. Efeito do fosfogesso industrial sobre a redução de sódio, carbonato, bicarbonato e cloreto, de um solo salino-sódico no Nordeste. I: Análise das soluções lixiviadas. Anais do CPG em Manejo e Conservação de Solos. Ano-V. CCA/UFPB/Areia-PB. 1-10.
- CAVALCANTE, L.F.; R.I. SILVEIRA; E.A. BORGES e J.J. de OLIVEIRA FILHO, 1985. Germinação e crescimento do sorgo forrageiro e sacarino num solo salino-sódico tratado com gesso industrial. In: Anais de resumos do I Encontro Semestral de apresentação de Pesquisa da UFPB, João Pessoa, 27-29.
- CAVALCANTE, L.F.; R.I. SILVEIRA e E.R. LUCENA, 1984. Produção de matéria seca de duas cultivares de Vigna em solos salinos do Nordeste, tratados com fosfogesso. Revista de Agricultura, Piracicaba, SP, 59 (no prelo).
- CORDEIRO, G.G., 1977. Caracterização dos problemas de sais dos solos irrigados do Projeto de São Gonçalo. Dissertação de Mestrado, Campina Grande, 108p.

- DAKER, A., 1970. A água na agricultura. Manual de Hidráulica Agrícola. Irrigação e Drenagem. 5ª ed. Editora Freitas Bastos S/A. São Paulo. Vol. 3. 453p.
- DOWTON, F.M., 1977. Photosynthesis in salts stressed grapevines. Aust. Journ. Plant Physiol., 4(2): 183-192.
- DUTT, G.R.; R.W. TERKELTOUB e R.S. RAUSCHKOLB, 1972. Prediction of gypsum and baching requirements for sodium affected soils. Soil Sci., Baltimore, 114(2): 93-103.
- EATON, F.M., 1942. Toxicity and accumulation of chloride and sulphate salts in plants. Journ. Agric. Res., 64: 354 - 399.
- EL-GABALLY, M.M., 1955. Specific effect of adsorbed ions on plant growth: 1. Effect of different combinations of Ca, Mg and Na in Barley seedlings. Soil Sci., Baltimore, 80: 235.
- EL-KADI, M.; A.I. GABR.; M.T. EL-SAID e M.A. KORTAM, 1977. The effect of difference combinations of soil salinity and nitrogen levels on mineral composition cotton plants. Acta Agronomica Academiae scientiarum hungaricae, Budapest, 26 (1/2): 176-181.
- EL-KOBBIA, T.; A.H. EL-DAMATY; M. OMAR e F. ANTER, 1969. Effect of reclamation of alkali soil with gypsum on the availability of adsorbed ions. J. Soil Sci., Oxford, 9(2): 231-237.
- EL-MOWELHI, N.M.; F. SHARAF EL-DIN e R.M. RADAWI, 1976. Effect of drainage, subsoiling and gypsum application on improving sodic soils of Egypt. Agric. Res. Rev., 54: 9-20.

- EL-SHABASSY, A.I.; M.A. ABU HUSSEIN; A.T. KOUSTAFA; M.J. HEAKEL; W.H. AHMED e K. KOUSSEI, 1973. Effect of different improving techniques on some physical properties of the soil. Agric. Res. Rev., 51: 135-145.
- EMBRAPA-SNCLS, 1979. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro.
- ENEAS FILHO, J., 1979. Efeito da salinidade na mobilização de carboidratos de reservas do feijão de corda pitíuba (*Vigna sinensis* (L.) Savi), UFC, Fortaleza, 78p.
- FENN, L.B.; J.J. OERTLI e BINGHAM, 1970. Specific chloride injury in persea americana. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 34: 617-620.
- FOTH, H.D. e L.M. TURK, 1972. Soil and agriculture of arid regions. In: Fundamentals of soil science, 5a. ed., New York, cap. 15, p.375.
- GEORGE, L.Y., 1967. Accumulation of sodium and calcium by seedlings of some cereal crops under saline conditions. Agron. J., Madison, 59: 297-299.
- GOBRAN, G.R.; J.E. DUFEY e H. LADDELOUT, 1982. The use of gypsum for preventing soil solidification: effect of gypsum particle size and location in the profile. Journal Soil Sci., Oxford, 33: 309-316.
- GOES, E.S., 1978. O problema de salinidade e drenagem em projeto de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vista a seu equacionamento. Anais da 1ª Reunião Sobre Salinidade em Áreas Irrigadas do Nordeste. Fortaleza, CE, 27-56.

- GHOWALL, S.I.; A.F. EL-ASHTAR; W.A. - GHAMRY e I.M. ANTER, 1980. Effect of added gypsum on inuptake and chemical properties of some Egyption soils. Agric. Res. Rev., 59: 313-319.
- HASSAN, N.A.K.; J.V. DREAN; D.K. e R.A. OLSON, 1970. Influence of soil salinity on production of dry water and uptake and distribution of nutrients in barley and corn. Agron. Journ., Madison, 62(1): 43-45.
- HARKER, D.B.; G.R. WEBSTER e R.R. CAIRNS, 1977. Factors contributing to crop response on a deepplowed solonez soil. Can. Journ. of Soul Sci., Ottawa, 57(3): 223-234.
- JACOBY, B., 1964. Function of the bean roots and stems in sodium retentions. Plant Physiology, Lancaster, 39: 445-449.
- JONES, C.B., 1981. Salt tolerance. In: Physiologycal process binsinting plant productivity. Ed. Betterworths, 1ª ed. 395p.
- KHOSLA, B.K. e S.I.P. ABROL, 1972. Effect of gypsum finess on the composition of saturation extract of a saline sodic soil. Soil Sci., Baltimore, 113(3): 204-206.
- LUCENA, E.R.; R.I. SILVEIRA e L.F. CAVALCANTE, 1983. Germinação de deijão-de-corda e sorgo forrageiro num solo salino-sódico tratado com fosfogesso industrial. Anais do CPG em Manejo e Conservação de Solos. Ano V, CCA/UFPB, Areia-PB. 29.39.
- LUNIN, J. e M.H. GALLANTINI, 1968. Salinity - Fertility interaction to the growth and composition of beans. I. Effect of N, -P and K. II. Varying of levels of N and P. Agro-nomy Journal, Madison, 4: 335-345.

- MACHADO, R.C.R.; A.B. RENA e A.C. VIEIRA, 1976. Efeito da desidratação osmótica na germinação de sementes de vinte cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Revista Ceres, Porto Alegre, 23(128): 310-320.
- MALAVOLTA, E.; H.P. HAAG; F.A.F. MELLO e M.O.C. do BRASIL SOBRINHO, 1974. Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas. São Paulo, 722p.
- MASSOUD, F.I., 1974. Salinity and alkalinity as soil degradation hazards. FAO/ONESP Expert. Consultation on Soil Degradation. FAO, Rome, p.10-14.
- MEDEIROS, O.P., 1982. Resistência varietal do feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) à salinidade. Dissertação de Mestrado, CCA/UFPB/Areia-PB. 65p.
- MOZHEIKO, A.M., 1969. Chemical reclamation of sodio solonetz in the Southern part of the Middle Dnieper Region by the application of gypsum and calcium chloride. Proc. of the Symposium of the reclamation of sodic and soda-saline soils. Budapest, 310-314.
- OLIVEIRA, F.A. de, 1983. Efeito da salinidade da água de irrigação sobre algumas características do solo e da cultura do arroz (*Oryza sativa* L.). Piracicaba, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 139p. (Tese de Doutorado).
- OPREA, C.V.; G.H. SANDU; E. ETERANESCH e I. VIAS, 1969. Reclamation of sodic soil in Rumania. Proc. of the Symposium of the reclamation of sodic and soda-saline soils, Budapest, 321-328.
- OSTER, J.D. e H. FRENKEL, 1980. The chemistry of the reclamation of sodic soil with gypsum and lime. Soil Sci. Soc. Amer. Journal, Madison, 44: 41-45.

- PEARSON, G.A.; A.D. AYERS e D.L. E ERHARD, 1966. Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. Soil Sci., Baltimore, 103(3): 151-156.
- PEREIRA, E. e J.F. da SILVA, 1977. Efeito de diferentes níveis de gesso na correção de solos salino-sódicos do Perímetro Irrigado do Poço da Cruz. In: Anais do III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem. Fortaleza-CE, vol. III: 219-234.
- PEREIRA, E.; J.F. SILVA; A.N. D'ALMEIDA e M.G.E. LEAL, 1980. Recuperação de solo salino-sódico no Perímetro Irrigado de Moxotó-PE. In: Anais do V Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. São Paulo, Vol. 1: 80-96.
- PEREIRA, F.A.M., 1981. Metodologias de análises químicas para solos afetados por sais no Nordeste. Dissertação de Mestrado, CCA/UFPB, Areia-PB, 71p.
- PEREIRA, Z.M.R. e A.G. ANDRADE, 1980. Efeito da concentração salina no desenvolvimento do tomateiro. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Irrigação e Drenagem, São Paulo, 395-424.
- PIMENTEL GOMES, F., 1973. Curso de Estatística Experimental. 5a. ed. Livraria Nobel, São Paulo, 530p.
- PIZARRO, F., 1978. Drenage Agrícola y recuperación de suelos salinos. Editora Agrícola Española S/A. Madrid, 211p.
- PRISCO, J.T.; BARBOSA, L. e FERREIRA, L.G.R., 1975. Efeitos da salinidade na germinação e vigor de plântulas de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Ciências Agrônômicas, 5 (112): 13-17.

- PRISCO, J.T., 1978. Efeitos da salinidade na germinação e no crescimento das plantas. Anais da 1a. Reunião sobre Salinidade em áreas irrigadas, Fortaleza, 64-112.
- RASMUSSEN, W.W.; D.P. MOORE e L.A. ALBAN, 1972. Improvement of Solonetz (sick spot) soil by deep plowing publishing and mendments. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 36(1): 137-142.
- RAVIKOVITH, S.H. e A. PORATH, 1967. The effect of nutrients on the salt tolerance of crops. Plant and Soil. The Hague, 26(1): 49-71.
- RHODES, J.D., 1968. Leaching requirement for exchangeable sodium control. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 32: 652-656.
- RICHARDS, L.A., 1954. Diagnósticos y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura nº 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos da América, México, 172p.
- ROBINSON, G.W., 1922. A new method for the mechanical analysis of soils and others dispersions. Journ. Agric. Sci., Cambridge, 12: 306-321.
- RUSSEL, E.W. e E.J. RUSSEL, 1973. Soil conditions and plant growth. London, Longman, 849p.
- SAMENI, A.M.; M. MAFTOUN; A. BASSIRI e A.R. SEPASKHAN, 1980. Growth and chemical composition of dry beans as affected by soil salinity and N fertilization. Plant and Soil, The Hague, 54: 217-222.

- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análise química de plantas. ESALQ/USP, Piracicaba-SP, 56p.
- SOUZA, R., 1971. Qualidade da água de irrigação, controle da salinidade do solo e sua reabilitação. MINTER-GEIDA / SUDENE, Recife. 66p
- STROGOONOV, B.P., 1964. Physiological basis of salt tolerance of plants. Israel Program for Scientific Translocation, Tel-Aviv, 279p.
- SZABOLCS, I., 1971. European solonchets soils and their reclamation. Akadémiai Kiadó, Budapest, 204p.
- THOMAS, J.R., 1980. Osmotic anal specific salt effects on growth of cotton. Agronomy Journal, Madison, 72: 407-412.
- VIEIRA, G.H.F., 1975. Efeitos da salinidade na mobilização de reservas nitrogenadas do feijão de corda seridó (*Vigna sinensis* (L.) Savi), durante a germinação. Dissertação de Mestrado, UFC, Fortaleza, 52p.
- VOMOCIL, J.A., 1960. Porosity. Agronomy Monograph. Amer. Soc. Agronomy, New York, Part 1: 299-314.
- WEST, D.W. e J.A. TAYLOR, 1981. Germination and growth of cultivars of *Trifolium subterraneum* L. in the presence of sodium chloride salinity. Plant and Soil. The Hague, 62: 221-230.

ZAKHARIN, A.A.; R.K. PETROVA e H.P. STROGOV, 1982. Tolerância de plantas leguminosas ao sal e seus comportamentos com relação a mudança de um meio normal para outro altamente salino. Tradução para a língua portuguesa por CAVALCANTE, L.F. Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Solos, CCA/UFPB-Areia-PB, 11-28.