



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

LUIZ ROBERTO ZARDETTO

**AVALIAÇÃO DO ARRASTE DOS ELEMENTOS CÁLCIO, MAGNÉSIO  
E POTÁSSIO PELA APLICAÇÃO EM EXCESSO DE GESSO  
AGRÍCOLA NO SOLO**

Assis  
2011

LUIZ ROBERTO ZARDETTO

Avaliação do Arraste dos Elementos Cálcio, Magnésio e Potássio Pela  
Aplicação em Excesso de Gesso Agrícola no Solo

Trabalho de conclusão de curso de  
graduação em Química Industrial do  
Instituto Municipal de Ensino Superior de  
Assis, como exigência para obtenção de  
título de Químico Industrial.

Orientador: Prof. Ms. Nilson José dos Santos

Área de Concentração: Química

Assis  
2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

ZARDETTO, Luiz Roberto

**Avaliação do Arraste dos Elementos Cálcio, Magnésio e Potássio Pela Aplicação em Excesso de Gesso Agrícola no Solo / Luiz Roberto Zardetto. Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – Imesa – Assis, 2011**

**36p.**

Orientador: Prof. Ms. Nilson José dos Santos  
Trabalho de conclusão de curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis

1.Arraste. 2. Cálcio, magnésio, potássio e enxofre. 3. Gesso agrícola

# AVALIAÇÃO DO ARRASTE DOS ELEMENTOS CÁLCIO, MAGNÉSIO E POTÁSSIO PELA APLICAÇÃO EM EXCESSO DE GESSO AGRÍCOLA NO SOLO

LUIZ ROBERTO ZARDETTO

Trabalho de conclusão de curso  
Apresentado ao Instituto Municipal  
De Ensino Superior de Assis, como  
Requisito do curso de Graduação,  
Analisado pela seguinte comissão  
Examinadora;

Orientador: Prof. Ms. Nilson José dos Santos

Analisador (1): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Silvia Maria Batista de Souza

Assis  
2011

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a todos profissionais da química que de uma forma geral se dedicam à arte de ensinar. A aqueles que manipulam fórmulas químicas em prol da humanidade. A aqueles que transformam para melhorar e aos que usam a química indiretamente para produzir alimentos seja ele vegetal ou animal e acima de tudo com ética profissional.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me dado coragem e energia para vencer mais essa etapa difícil de minha vida.

Ao professor, MS. Nilson José dos Santos pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho.

Aos amigos, Bruno, José Roberto, Rafael e Erik pela verdadeira amizade e companheirismo e a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução desse trabalho.

Aos familiares, em especial a minha esposa Vera e aos meus filhos, Luana e Jefferson pela paciência nos momentos difíceis.

## **Conflito Corpo e Alma**

O corpo tem limite,  
a alma infinita.

A mente delimita  
o que é do corpo e  
o que é da alma.

O corpo sangra,  
a alma estanca.

A mente coordena  
e a guerra é plena.

O futuro chegou,  
a guerra acabou.

O corpo sobreviveu,  
a alma adoeceu.

O corpo não cura a alma.

Mas o conhecimento alivia  
e acalma.

## RESUMO

O solo brasileiro em geral tem característica ácida. A neutralização da acidez nas camadas mais profunda, devido às condições desfavoráveis de dissolução do calcário no solo, tornou-se mais complexa. Esse trabalho tem como objetivo avaliar a dosagem em tonelada por alqueire que se pode utilizar do gesso agrícola proveniente de produção de ácido fosfórico sem que o mesmo prejudique o solo. O experimento conta com sete “vasos” com área da superfície de 250 cm<sup>2</sup> e profundidade 40 cm e diferentes quantidades de gesso. Os vasos de 1 a 7 receberam quantidade iguais de adubo e calcário, ou seja 1,5 toneladas por alqueire de calcário e 1,1 toneladas de adubo 2-20-18 (2% de N, 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 18% de K<sub>2</sub>O), conforme necessidade do solo para o plantio de soja. A análise química do solo dos experimentos mostrou que o excesso de gesso agrícola pode lixiviar nutrientes para o subsolo. Como o experimento foi feito em um tipo de solo com predominância em argila, não pode-se generalizar. O experimento mostrou que o enxofre lixivia facilmente na forma de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, pois a metodologia usada para a análise do mesmo determina S do SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Embora o vaso seis que recebeu maior dosagem de gesso mostrou pouca quantidade dos elementos em questão nas duas parcelas do vaso: (0-20)cm e (20-40)cm de profundidade, e como os vasos do experimento não tinham o fundo bloqueado, podemos concluir que a baixa concentração dos elementos avaliados sofreu arraste para além do vaso. O potássio não sofreu com o excesso de gesso.

**Palavras – chave:** 1. Arraste. 2. Cálcio, magnésio, potássio e enxofre. 3. Gesso Agrícola

## ABSTRACT

The Brazilian soil, in general, have acid feature. The neutralization of acidity in deeper layers, due the unfavorable conditions of dissolution of limestone in the soil, has become more complex. This study has the goal of evaluate the dose in tonnes per bushel that can be used of the agricultural plaster from the production of phosphoric acid without that it damage the soil. The experiment has seven “vases” with surface area of 250 cm<sup>2</sup> and 40 cm of depth and different quantities of plaster. The vases from 1 to 7 received equal quantities of manure and limestone, in another words 1,5 tonnes per bushel of limestone and 1,1 tones of manure 2-20-18 (2% of N, 20% of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 18% of K<sub>2</sub>O), according to the needs of the soil for the planting of soybeans. The soil chemical analysis of the experiments showed that the excess of agricultural plaster can lixiviate nutrients to the subsoil. As the experiment was done in a soil type with predominance in clay, it can't be generalized. The experiment showed that the sulfur leaches easily in the form of SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, because the methodology used to the analysis determines S of SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Although the vase six that received more dose of plaster, showed little quantity of elements in discussion in two portion of the vase: (0-20)cm and (20-40)cm of depth, and as the vases of the experiment didn't have the background blocked, we can conclude that the low concentration of the elements evaluated suffered drag to beyond the vase. The potassium didn't suffer with the excess of plaster.

**Key-words:** 1. Drag. 2. Calcium, magnesium, potassium and sulfur. 3. Agricultural plaster.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrato.....	18
Figura 2 - Hidrólise da uréia produzindo carbonato de amônio (sal volátil).....	18
Figura 3 - Reação do H <sup>+</sup> presente no solo com o carbonato de cálcio.....	18
Figura 4 - Representação de troca de cátions em solos através de sulfato cálcio.....	20
Figura 5: Reação química balanceada da neutralização da acidez no solo.....	24
Figura 6 – Vaso com adição do gesso e dos nutrientes.....	36
Figura 7 – Vaso com 8 dias após a germinação da soja.....	37
Figura 8 – Vaso com 30 dias de germinação da soja.....	37
Figura 9 – Vaso com 86 dias de germinação da soja.....	38
Figura 10 – Vaso com 116 dias de germinação da soja.....	38
Figura 11: Regressão linear para cálculo do potássio.....	39
Figura 12: regressão linear para cálculo do cálcio.....	41
Figura 13: regressão linear para cálculo do magnésio.....	42
Figura 14: regressão linear para cálculo do enxofre.....	44

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação para aplicação de calcário no solo.....	22
Equação 2: Equação para o cálculo do V%.....	23
Equação 3: Substituição de V% por (V2-V1).....	23
Equação 4: Equação para o cálculo da molaridade.....	24
Equação 5: SB isolada.....	24
Equação 6: Substituição de SB por sua respectiva equivalência.....	25
Equação 7: Multiplicação do 100 por 1000 e inclusão do PM do CaCO <sub>3</sub> .....	25
Equação 8: Inclusão do volume de solo a ser corrigido a acidez.....	25
Equação 9: Multiplicação do PM pelo volume de solo e simplificação da fração...25	
Equação 10: O m foi isolado.....	26
Equação 11: Simplificação da fração.....	26
Equação 12: Equação já simplificada.....	26
Equação 13: Massa de calcário transformada em toneladas por hectare.....	26
Equação 14: Simplificando números da equação.....	26
Equação 15: Equação já simplificada.....	27
Equação 16: O 1000 foi fatorado.....	27

Equação 17: Equação para aplicação do calcário no solo.....	27
Equação 18: Equação para o cálculo do potássio.....	40
Equação 19: Equação para o cálculo do cálcio.....	41
Equação 20: equação para o cálculo do magnésio.....	43
Equação 21: equação para o cálculo do enxofre.....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Aplicação de gesso nos vasos do experimento em equivalência por alqueire.....	29
<b>Tabela 2</b> - Identificação dos vasos no experimento.....	30
<b>Tabela 3</b> - Tabela de resultados de análise de solos.....	35
<b>Tabela 4</b> - Curva de calibração do potássio.....	39
<b>Tabela 5</b> - Curva de calibração do cálcio.....	40
<b>Tabela 6</b> - Curva de calibração do magnésio.....	42
<b>Tabela 7</b> - Curva de calibração do enxofre.....	43
<b>Tabela 8</b> - Resultado de análise de potássio, cálcio, magnésio e enxofre.....	45

# SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15 - 16</b>
<b>2 SOLO.....</b>	<b>17</b>
2.1 ALUMINIO NO SOLO.....	17
2.2 ACIDEZ NO SOLO.....	17 - 18
2.3- CORREÇÃO DA ACIDEZ.....	18
2.4 GESSO COMO MELHORAMENTO DE SUBSOLO ÁCIDO.....	19
2.5 RELAÇÃO COM AGRICULTURA CONSERVACIONISTA .....	20 - 27
2.6 DETERMINAÇÃO DO POTÁSSIO, CÁLCIO, MAGNÉSIO E FÓSFORO NO SOLO.....	28
2.7 DETERMINAÇÃO DO ENXOFRE NO SOLO.....	28
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
3.1 PARTE EXPERIMENTAL.....	29 - 30
3.2 EQUIPAMENTOS.....	30
3.3 MATERIAIS E REAGENTES.....	31
3.4 PROCEDIMENTOS DE DETERMINAÇÃO DO POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO.....	32
3.5 CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO.....	33
3.6 DILUIÇÃO DO SOLO.....	33
3.7 PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DO ENXOFRE.....	34
3.8 CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ENXOFRE.....	34
3.9 DILUIÇÃO NO SOLO.....	34
<b>4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35 - 47</b>

**5. CONCLUSÃO.....48**

**6. REFERÊNCIAS.....49**

## 1. INTRODUÇÃO

O solo apresenta quatro fases, que são a sólida, a líquida, a gasosa e a biológica. A interação dessas quatro fases é que torna possível o desenvolvimento de todos os tipos de vegetais no solo, graças a um conjunto de propriedades e processos que permitem a retenção de água e nutrientes para as raízes (BERNARDO VAN RAIJ, 1988).

O solo é a parte superficial intemperizada da crosta terrestre, não consolidada e contendo minerais, matéria orgânica e seres vivos. Nele se desenvolvem os vegetais, os quais obtêm através das raízes, a água e os nutrientes necessários para o seu pleno desenvolvimento.

Quando a quantidade de água na superfície do solo não for o suficiente, as plantas tendem a aprofundar as suas raízes para camadas mais profundas do solo, e em consequência disso, podem não encontrar os nutrientes necessários para sua máxima produtividade, ou até mesmo, encontrar o alumínio tóxico sendo ele na forma  $Al^{3+}$  trocável e disponível para as plantas. Esses nutrientes, em sua maior parte são adicionados pelo homem na superfície do solo.

Como na agricultura conservacionista o solo não é revolvido, o gesso agrícola pode solucionar o problema. Os solos brasileiros, em geral, apresentam baixos teores de cálcio (Ca) trocável e altos teores de alumínio (Al) trocável. Isso ocorre, com ênfase, nas camadas mais profundas. Desta maneira, o desenvolvimento radicular é superficial e aí concentrado. Disto ocorre que as plantas sofrem com os veranicos e a absorção de nutrientes.

O fosfogesso ou gesso agrícola é um subproduto da reação química do ácido sulfúrico com rocha fosfatada (apatita), realizada com o fim de produzir ácido fosfórico.

Conforme Luiz Eduardo Dias (1992), o gesso agrícola deve ser encarado como um importante insumo para agricultura, mas, que devido suas características, tem seu emprego em situações bem definidas, uma vez que o uso indiscriminado e sem critérios pode acarretar problemas e não benefícios para o agricultor. Como o gesso é sulfato de cálcio, o mesmo fornece cálcio e enxofre para o solo e sabendo usá-lo

pode se obter bons resultados de produtividade e ao mesmo tempo estaria ajudando o meio ambiente.

O gesso agrícola deve ser encarado de uma forma diferente em relação a sua recomendação agrônômica em relação à calagem e adubação, pois para a calagem como forma de correção da acidez há uma técnica que leva em conta a reação ácido-base. Para a adubação com fósforo e potássio existem boletins embasados em pesquisas sobre nutrição de plantas que indicam quais as necessidades dos vegetais. Para o gesso ainda não se estabeleceu a quantidade exata que se pode aplicar no solo, bem como o objetivo da aplicação, se é fornecer cálcio, enxofre, ou até mesmo atenuar o alumínio tóxico, pois essa última é uma das características do gesso. Ainda não existem pesquisas consistentes que defina a quantidade de gesso que o solo suporta de acordo com as características peculiar de cada solo em função da capacidade de troca de cátions, dando certeza para o produtor rural se a quantidade aplicada de gesso lhe dará o retorno esperado ou até mesmo, se sua atividade não está sendo prejudicial financeiramente ou até mesmo acarretando um dano para o meio ambiente.

Esse trabalho tem como objetivo avaliar a dosagem em tonelada por alqueire que se pode utilizar do gesso agrícola proveniente de produção de ácido fosfórico sem que o mesmo prejudique o solo, ou seja, que não ocorra um arraste excessivo de potássio, cálcio e magnésio para o subsolo, pois, quando se quer dar fim em um subproduto pode se extrapolar sua utilização.

## 2. SOLO

Segundo estimativa de Eswaran e outros (1997), com base em dados da FAO e outras organizações, solos ácidos ocupam em torno de 3,8 bilhões de hectares no mundo, correspondendo a 25,9% da área total de solos. A maior parte dos solos ácidos está na América do Sul, onde ocupam 1,2 bilhões de hectares, ou 66% da área total dos solos do continente.

A enorme extensão de solos ácidos no Brasil não encontra paralelo no mundo. Eles predominam em quase todas as regiões, só ocupando áreas relativamente menores no semi-árido nordestino (Olmos e Camargo, 1976). Na importante região dos serrados do Brasil Central, palco da maior ampliação da área agrícola no mundo nas últimas décadas, a predominância de solos ácidos com elevadas saturações por alumínio trocável e teores baixos de cálcio é quase absoluta. (GOEDERT, 1983; LOPES, 1983, GOEDERT, 1985; MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985; SOUSA, 2002; HARRINGTON e SORENSEN, 2004).

### 2.1 Alumínio no Solo

Olmos e Camargo (1976), já tinham ressaltado a importância do alumínio em horizontes subsuperficiais em afetar negativamente a produção agrícola, por limitar a absorção de água e nutrientes. Os autores ressaltaram que o problema seria tanto mais grave quanto mais crítica fosse a deficiência de água para as culturas.

### 2.2 Acidez no solo

O solo se torna ácido porque as bases trocáveis como potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ) principalmente, são substituídos pelos íons de  $H^+$  (E. Malavolta, 1986).

Essa substituição se dá pela grande quantidade de produção agrícola que sai das lavouras, muitas vezes duas safras por ano carregando esses minerais retirados dos solos necessários para sua produtividade. Uma das fontes do  $H^+$  vem da água da chuva nas condições naturais. Também ocorre o aparecimento de hidrogênio iônico por outras causas. A principal delas, nos solos cultivados, são os adubos nitrogenados que contêm o elemento na forma amoniacal, figura 1, como sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrocálcio, fosfato de amônio.



**Figura 01** – oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrato.

Outra forma é amídica, figura 2, onde o nitrogênio é proveniente da uréia que sofre hidrólise proveniente da umidade do solo, tendo como produto o carbonato de amônio. A amônia proveniente dessa hidrólise também passa pelo processo de oxidação conforme citado na figura 1.



**Figura 02** - Hidrólise da uréia produzindo carbonato de amônio (sal volátil).

### 2.3 Correção da Acidez

A calagem é considerada como uma das práticas que mais contribui para o aumento de eficiência dos adubos e conseqüentemente da produtividade e da rentabilidade agropecuária.

Quando se aplica um corretivo da acidez no solo, na maioria das vezes calcário ( $CaCO_3$ ), a reação de neutralização resultante é ilustrada na figura 3.



**Figura 3** – Reação do  $H^+$  presente no solo com o carbonato de cálcio.

## 2.4 Gesso como melhoramento de subsolo ácido

Em meados da década de 1970, o acaso fez com que um experimento que estava sendo desenvolvido para outra finalidade apontasse um novo caminho para aliviar a acidez do subsolo. Uma comparação de fosfatos estava sendo realizada em solo de cerrado do distrito federal, como relata RITCHEY et al, 1980.

Dentre os materiais avaliados estavam o superfosfato triplo (ST) e o superfosfato simples (SS). Durante um dos veranicos da região, um fato inusitado surpreendeu os pesquisadores. Na parcela do tratamento ST, as plantas de milho ficavam murchas, enquanto no tratamento do SS estavam túrgidas. Foi uma observação notável, que não ficou sem explicação. Uma pesquisa minuciosa revelou que, no tratamento com SS, havia maior aprofundamento radicular e maior extração de água das camadas mais profunda do solo (Raij, Bernardo van, 2008).

Em comparação com o tratamento ST as camadas mais profunda do solo do tratamento SS continham menor alumínio e mais cálcio. Como o superfosfato simples difere do superfosfato triplo pelo gesso que contém, os efeitos observados foram atribuídos a esse componente do adubo.

Surgiu, assim, pela observação relatada, uma possível nova técnica de melhoria de ambiente radicular de subsolo ácido. Ficou uma dúvida, estaria aí a solução para corrigir a acidez de subsolo, em que o efeito da calagem não chega com a velocidade desejada?

A descoberta do efeito peculiar do gesso surgiu em uma época em que a indústria de ácido fosfórico vinha contemplando com a preocupação o empilhamento de grandes quantidades de subproduto fosfogesso nas imediações das indústrias. O resultado indicou uma feliz convergência: de um lado, a identificação de uma necessidade imprevista de gesso para a agricultura, de outro, o desejo da indústria de ácido fosfórico de dar um destino útil ao gesso.

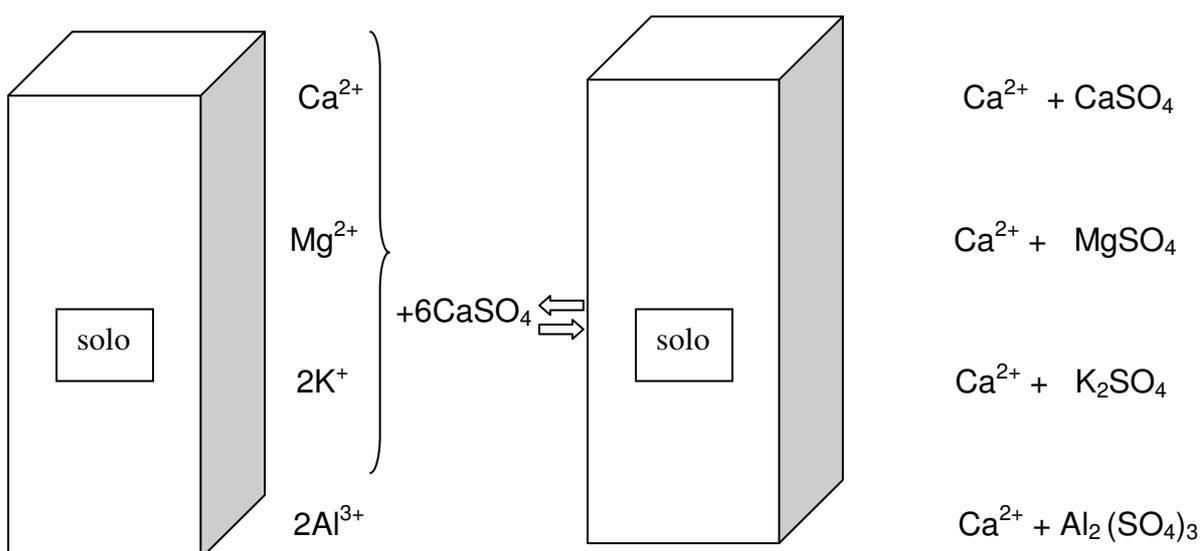
## 2.5 Relação com a agricultura conservacionista

Conforme relata Bernardo van Raij (2008), há um fator a mais a considerar, já na década de 1980, quando se achava que o controle da fertilidade do solo seria suficiente para garantir a produtividade, o fenômeno da erosão colocava em dúvida essa percepção ao remover a parte mais fértil dos solos, além de causar estragos irreversíveis nos solos e nos cursos d'água.

Praticar a agricultura conservacionista significa não revolver o solo. Isso resulta em corrigir a acidez colocando calcário na superfície do solo, portando em condições muito desfavoráveis de dissolução. Nesse caso, o gesso, um sal solúvel, move-se facilmente para dentro do solo e, nesse particular, seria mais adequado do que o calcário. É um serio engano, contudo, considerar o gesso como alternativa ao calcário. Na realidade, o gesso começa a atuar no subsolo onde o efeito da calagem não alcança.

O calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) é um sal básico e, como tal reage com qualquer ácido, portanto reage com a acidez do solo conforme explicado acima.

Já no caso de gesso ( $\text{CaSO}_4$ ), como ele não é um sal básico, não ocorre reação de neutralização. Ele atua conforme a representação esquemática de troca de cátions, figura 4, em solo através de sulfato de cálcio.



**Figura 04:** Representação de troca de cátions em solos através de sulfato de cálcio.

Na figura 4, que é um esquema proposto por Bernardo van Raij (2008) foi incluído o balanceamento.

Como o esquema acima mostra, percebemos que o  $\text{CaSO}_4$  tem um papel importante, pois transforma o  $\text{Al}^{3+}$  trocável que é tóxico para as plantas em  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  que é menos tóxico para as plantas.

Existe também a troca de outros íons como  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  que são importantes para as plantas e que podem ser lixiviados quando são adicionados grandes quantidades de gesso agrícola no solo.

Como a calagem e a gessagem são práticas diferentes, pois a calagem corrige acidez, mas na prática conservacionista não conseguem corrigir o perfil do solo, o gesso como sal solúvel consegue carregar  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  para o subsolo, também fornece enxofre que o calcário não fornece.

Como já foi dito a calagem acompanha a gessagem e a calagem segue uma regra química para a sua adição que nada mais é do que uma reação de neutralização da acidez do solo com uma base que é o calcário.

Para a adição de calcário no solo se torna necessário fazer várias considerações a respeito do produto, pois muitas vezes o mesmo é uma mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio.

Em uma análise química do calcário se determina o poder de neutralização (PN) usando o método clássico de titulometria indireto. Nos cálculos envolvidos usa-se apenas a massa da fórmula do  $\text{CaCO}_3$  de modo que todo  $\text{MgCO}_3$  seja convertido em  $\text{CaCO}_3$ . Essa transformação tem grande utilidade no momento da recomendação para a sua utilização na correção da acidez do solo que nada mais é do que uma reação de neutralização. Então, se o reagente que é o calcário tem seu PN todo em equivalência ao  $\text{CaCO}_3$ , torna-se mais simples a equação química.

Para melhor entender o processo da transformação do  $\text{MgCO}_3$  em  $\text{CaCO}_3$  podemos usar o valor da concentração do cálcio e do magnésio de uma análise química do calcário e transformá-lo todo em  $\text{CaCO}_3$

Com a concentração cálcio, podemos transformá-lo por estequiometria em carbonato de cálcio, também com a concentração de magnésio, podemos transformá-lo por estequiometria em carbonato de magnésio. Como carbonato de

magnésio tem massa da fórmula diferente do carbonato de cálcio, é de interesse transformar o poder de neutralização do carbonato de magnésio em carbonato de cálcio, pois se assim não for, tornaria mais trabalhoso o cálculo da neutralização da acidez no solo utilizando um calcário com os dois carbonatos citado acima.

Como a massa da fórmula do  $\text{CaCO}_3$  é aproximadamente 100g/mol e comparada com a massa da fórmula do  $\text{MgCO}_3$  que é aproximadamente 84,3g/mol, é perceptível quimicamente que os dois carbonatos tem poder de neutralização diferentes quando compararmos a massa da fórmula dos mesmos.

1 mol de $\text{CaCO}_3$	-----	100,0g
1 mol de $\text{MgCO}_3$	-----	84,3g

Com essa relação é possível perceber que com 84,3g de  $\text{MgCO}_3$  se neutraliza a mesma acidez que 100g  $\text{CaCO}_3$  neutraliza. Então, se dividir 100 por 84,3 percebe-se que o poder de neutralizar a acidez do carbonato de magnésio é 1,186 vezes maior que o carbonato de cálcio. Então, 1,186 é o fator que deve ser multiplicado o  $\text{MgCO}_3$  para obter sua equivalência em  $\text{CaCO}_3$ .

Para aplicação do calcário no solo é utilizado a equação (1).

$$\text{NC} = (\text{V2} - \text{V1}) \times \text{CTC}/10 \times \text{PRNT} \quad (1)$$

**Equação 1:** Equação para aplicação de calcário no solo.

Na equação 1 temos NC, V1, V2, CTC e PRNT que representam:

- NC: necessidade de calagem que é a quantidade em toneladas por hectare que se deve aplicar para diminuir a acidez até o ponto desejado;
- V1: porcentagem de nutrientes bons para o solo com carga positiva ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ), que é conhecido com soma de base (SB) em relação à soma ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ + $\text{Al}^{3+}$ );
- V2: porcentagem de nutrientes bons que se quer atingir no solo levando em conta o tipo de vegetal que se pretende implantar;

- CTC – capacidade de troca de cátions: é a soma de ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ + $\text{Al}^{3+}$ );
- PRNT – poder relativo de neutralização total (leva em conta o PN do calcário, sendo uma característica química e a granulometria sendo uma característica física).

No laudo de análises química de solo, o V1 é encontrado como V% e esse valor deve ser corrigido quando estiver fora dos parâmetros que são diferenciados para determinados vegetais.

Como na equação 1 envolve uma fórmula que implica na correção da acidez do solo, e correção de acidez nada mais é do que uma reação de neutralização da acidez do solo com a adição de uma base que é o calcário, é conveniente entender como a mesma funciona.

Como foi mencionado anteriormente, V1 ou V% é a porcentagem de nutrientes bons para o solo em relação a soma de nutrientes bons e ruins. Com isso podemos expressar o V% de uma forma matemática conforme equação (2).

$$V\% = SB \times 100/CTC \quad (2)$$

**Equação 2:** Equação para o cálculo do V%.

A primeira questão que se deve levar em conta é quanto o V% deve aumentar para atingir o objetivo, ou seja, neutralizar a acidez.

V1 é a porcentagem de nutrientes bons para o solo, é o valor real. V2 também é a porcentagem de nutrientes bons para o solo, mas o ideal. Então se substituirmos na equação 2 o V% por (V2-V1) saberemos o quanto se deve aumentar o V% para corrigir a acidez, lembrando que o V% aumenta se a SB sofrer um aumento, pois conforme equação 2, SB é diretamente proporcional ao V%, e para SB aumentar, uma massa de calcário deve ser adicionada no solo. Com a substituição de V% por (V2-V1), vem a equação (3).

$$(V2-V1) = SB \times 100/CTC \quad (3)$$

**Equação 3:** Substituição de V% por (V2-V1).

Como a soma de base SB no laudo de análise de solo é mmol/dm<sup>3</sup> (milimol de carga por decímetro cúbico – unidade internacional para análise de solo), que representa normalidade dividido por mil, e normalidade está em desuso na área da química, vamos demonstrar a equação (1) através de molaridade usando o conceito de neutralização da acidez do solo definida pelo boletim técnico da ANDA conforme reação química da figura 5.



**Figura 05:** Reação química balanceada da neutralização da acidez no solo.

Nessa reação temos 1 mol de CaCO<sub>3</sub> para 2 mols de H<sup>+</sup>.

Como vamos demonstrar a equação (1) usando molaridade, segue equação (4).

$$M = m/PM \times V \quad (4)$$

**Equação 4:** Equação para o cálculo da molaridade

Isolando a SB da equação (3), obtemos a equação (5).

$$(V2 - V1) \times \text{CTC}/100 = \text{SB} \quad (5)$$

**Equação 5:** SB isolada

No caso em questão, equação (4), M é molaridade e SB na equação (5) é molaridade dividida por 1000, lembrando que SB é milimol. Como vamos substituir a SB na equação (5) por m/PM x V, da equação 4, pois o objetivo é demonstrar a fórmula da calagem para determinar a massa de calcário, então há duas considerações a serem feitas:

1-na equação (4), M representa malaridade, então devemos dividir o outro lado da equação por 1000 para transformá-lo em mols, pois SB é milimols.

2-a estequiometria do carbonato de cálcio e o ácido, no caso  $H^+$  é de  $1CaCO_3$  para  $2H^+$ , então devemos multiplicar por 2 a massa de calcário m.

Com essas considerações, podemos fazer a substituição necessária na equação (6).

$$(V2 - V1) \times CTC/100 \times 1000 = 2 \times m/PM \times V \quad (6)$$

**Equação 6:** Substituição de SB por sua respectiva equivalência.

Na equação (7) foi multiplicado o 100 por 1000 e o número resultante está em notação científica ( $10^5$ ). Também foi substituído PM por 100 que é o peso da fórmula do  $CaCO_3$ .

$$(V2 - V1) \times CTC/10^5 = m \times 2/100 \times V \quad (7)$$

**Equação 7:** Multiplicação do 100 por 1000 e inclusão do PM do  $CaCO_3$ .

Na equação (7), m é a massa de  $CaCO_3$  que se pretende aplicar no solo.

Para a calagem se aplica toneladas por hectare e pretende-se corrigir a uma profundidade de 20 cm. Então o volume V na equação (7) é  $10.000 \text{ m}^2$  (um hectare) x 0,20m de profundidade.

$$V = 10.000 \times 0,20 = 2 \times 10^3 \text{ m}^3 = 2 \times 10^6 \text{ Litros de solo.}$$

Na equação (8) foi substituído V pelo volume de interesse.

$$(V2 - V1) \times CTC/10^5 = m \times 2/100 \times (2 \times 10^6) \quad (8)$$

**Equação 8:** Inclusão do volume de solo a ser corrigido a acidez.

Multiplicando 100 por  $10^6$  e dividindo o número 2 do numerador por 2 do denominador, o resultado está na equação (9).

$$(V2 - V1) \times CTC/10^5 = m/10^8 \quad (9)$$

**Equação 9:** Multiplicação do PM pelo volume de solo e simplificação da fração.

Como é de interesse calcular a massa  $m$  de calcário, na equação (10), o  $m$  foi isolado.

$$(V_2 - V_1) \times CTC \times 10^8/10^5 = m \quad (10)$$

**Equação 10:** O  $m$  foi isolado.

Na equação (11) a fração foi simplificada.

$$(V_2 - V_1) \times CTC \times 10^8/10^5 = m \quad (11)$$

**Equação 11:** Simplificação da fração.

Na equação (12), a fração já está simplificada.

$$m = (V_2 - V_1) \times CTC \times 10^3 \quad (12)$$

**Equação 12:** Equação já simplificada.

A massa da equação (12) é dada em gramas, pois estamos trabalhando com molaridade e é preciso que seja transformada em toneladas.

1 tonelada =  $10^6$  gramas, então o ajuste está representado na equação (13).

$$m = (V_2 - V_1) \times CTC \times 10^3/10^6 \quad (13)$$

**Equação 13:** Massa de calcário transformada em toneladas por hectare.

A equação (14) está representando a simplificação da equação (13).

$$(V_2 - V_1) \times CTC \times 10^3/10^6 = m \quad (14)$$

**Equação 14:** Simplificando números da equação.

Na equação (15), a fração já foi simplificada.

$$m = (V2 - V1) \times CTC/1000 \quad (15)$$

**Equação 15:** Equação já simplificada.

A equação (15) pode ser escrita conforme equação (16).

$$m = (V2 - V1) \times CTC/10 \times 100 \quad (16)$$

**Equação 16:** O 1000 foi fatorado.

Como o calcário é um produto com impurezas e também tem  $MgCO_3$  como mostrado anteriormente, é importante corrigir equação (16), pois o PRMT dificilmente será 100%, trocando o 100 da equação (16) por PRNT.

Com essa correção, obtemos a demonstração da equação (1) da dosagem de calcário que está representado na equação (17).

$$m = (V2 - V1) \times CTC/10 \times PRNT \quad (17)$$

**Equação 17:** Equação para aplicação do calcário no solo

Com essa demonstração reforça-se a justificativa que para o calcário é possível se equacionar a correção da acidez, mas para o gesso agrícola ainda não há uma equação definida.

Lembrando que PRNT é poder relativo de neutralização total que obedece a transformação estequiométrica do  $MgCO_3$  em  $CaCO_3$  e leva em conta a granulometria do calcário, pois quanto maior essa for menor será a superfície de contato dos grãos de calcário com o solo e menor será a reação de neutralização da acidez.

## **2.6 Determinação do potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo no solo.**

A extração desses elementos no solo é feita com resinas de troca iônica. O Método original foi descrito por Raij e Quagio (1983); e por Raij et al. (1987). Foi feita uma modificação posterior na composição do reagente usado na extração dos elementos da mistura de resinas trocadoras de íons, após o processo de extração, passando-se de uma solução contendo 1 mol/L de NaCl e 0,1 mol/L de HCl para uma solução contendo 0,8 mol/L de cloreto de amônio e 0,2 mol/L de HCl (Raij et al., 1987). A solução de cloreto de amônio favorece a leitura no espectrofotômetro de absorção atômica, em relação à solução de cloreto de sódio, porque não provoca entupimento no queimador do aparelho.

## **2.7 Determinação do enxofre no solo.**

O método baseia-se na extração de sulfato em solos por uma solução de fosfato de cálcio. A quantificação é feita por turbidimetria, provocada pela presença de BaSO<sub>4</sub>, formado pela reação do BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O com o S-SO<sub>4</sub>, extraído do solo (Fox et al. e Tabatabai e Bremner (1970, com modificações introduzidas por Andrade et al. 1990.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Parte Experimental

O experimento conta com sete “vasos” com área da superfície de 250 cm<sup>2</sup> e profundidade 40 cm.

A área é importante, pois, é utilizada para a recomendação do adubo e o calcário que foi indicada conforme os dados da análise de solo abaixo.

Os vasos de 1 a 7 receberam quantidade iguais de adubo e calcário, ou seja 1,5 toneladas por alqueire de calcário e 1,1 toneladas de adubo 2-20-18 (2% de N, 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 18% de K<sub>2</sub>O), conforme necessidade do solo para o plantio de soja.

A variação ficou por conta do gesso, pois é ele que está em estudo e cada vaso recebeu as seguintes doses conforme tabela 01.

Vaso 01	0 toneladas por alqueire
Vaso 02	1 toneladas por alqueire
Vaso 03	2 toneladas por alqueire
Vaso 04	4 toneladas por alqueire
Vaso 05	6 toneladas por alqueire
Vaso 06	8 toneladas por alqueire
Vaso 07	1 ton./Alq. do gesso proveniente de fábrica de baterias.

**Tabela 01:** aplicação de gesso nos vasos em equivalência por alqueire.

A profundidade também é importante. Os 40 cm é o suficiente para avaliar se há um arraste dos elementos que estão em estudo e a quantidade desses elementos que foram lixiviados para a camada mais profunda do solo.

Cada vaso ficou exposto à intempérie recebendo chuva e sol. O solo não foi revolvido como na agricultura conservacionista, com o objetivo de avaliar se os

elementos citados acima sofreram um arraste para a parte inferior dos vasos sem a interferência mecânica.

Em cada vaso foi plantado soja na época ideal para o seu cultivo com o objetivo de tornar o experimento mais próximo possível da realidade dos solos para agricultura.

Decorridos 14 meses, o solo de cada vaso foi dividido em duas parcelas, uma parcela até 20 cm de profundidade e a outra de 20cm até o fundo do vaso que é de 40cm. Cada parcela foi bem homogeneizada e retirado uma amostra identificada conforme tabela 02.

Vaso 01 (00-20) cm	Vaso 01 (20-40) cm
Vaso 02 (00-20) cm	Vaso 02 (20-40) cm
Vaso 03 (00-20) cm	Vaso 03 (20-40) cm
Vaso 04 (00-20) cm	Vaso 04 (20-40) cm
Vaso 05 (00-20) cm	Vaso 05 (20-40) cm
Vaso 06 (00-20) cm	Vaso 06 (20-40) cm
Vaso 07 (00-20) cm	Vaso 07 (20-40) cm

**Tabela 02:** identificação dos vasos no experimento.

As amostras foram secas e destorroadas por moinho de martelo próprio para esse trabalho, passadas em peneiras com malha de 2mm de abertura, resultando na chamada terra fina seca ao ar (TFSA), estando assim, prontas para a análise química.

### 3.2 Equipamentos

- Moinho de martelo (Tecnal/TE-330);
- Mesa agitadora, movimento circular-horizontal, com rotação mínima de 220 rpm (Tecnal/Te-145);

- Dispensador diluidor regulados com volumes de 10mL e 1mL;
- Dispensador de 50mL;
- Pipeta automática (0-10)mL (Socorex/acura-835);
- Aparelho separador de resina, com conjunto de 10 peneiras com malha de 0,4mm;
- Espectrofotômetro de absorção atômica (Varian/AA1275);
- Espectrofotômetro com ajuste para leitura a 420nm (Celm/E-225-D);
- Balança analítica (Marte/AS2000C);
- Balança de precisão (Sauter/D7470);
- Destilador de água (Marconi/MA-255);
- Deionizador de água (Tecnal/DE1800).

### 3.3 Materiais e reagentes

- Copos plásticos de 100 mL
- Cachimbo para medidas de 2,5cm<sup>3</sup>;
- Cachimbo para medidas de 2,5cm<sup>3</sup> com fundo de malha de poliéster;
- Pipetas volumétricas, balões volumétricos e provetas;
- Bandejas de isopor para 10 frascos plásticos cilíndricos de 100mL com tampa;
- Resina trocadora de íons;
- Solução de cloreto de amônio 0,8 mol/L em HCl 0,2, mol/L;
- Óxido de lantânio 1g/L;
- Solução de HCl 50% com 20 ppm de enxofre;
- Cristais de BaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O;
- Carvão ativado;
- Papel filtro faixa azul;
- Solução para extração do enxofre de Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01mol/L

- Solução padrão estoque mista de potássio 3 mmol/L, cálcio 50 mmol/L e magnésio 10 mmol/L;
- Solução padrão estoque de enxofre 100 mg/L.

### **3.4 Procedimento de determinação do potássio, cálcio e magnésio.**

Transferiu-se 2,5 cm<sup>3</sup> de solo preparado acima de todos os experimentos para copos plástico de 100 mL. Acrescentou-se 25 mL de água destilada e deionizada em cada frasco e uma bolinha de vidro. Tampou-se os frascos e agitou-se durante 15 minutos na mesa agitadora para promover a degradação do solo. Foi retirada a bolinha de vidro com o auxílio de uma colher específica e adicionado 2,5 cm<sup>3</sup> de resina de troca iônica. Fechou-se o frasco e agitou-se durante 16 horas em mesa agitadora a uma velocidade de 220 rpm aproveitando o período noturno.

No dia seguinte, foi aberto os frascos e transferido a solução de solo com resina para o aparelho separador de resina. Lavou-se a resina com o mínimo de água (destilada e deionizada) possível, mas até parar de sair argila. Transferiu-se a resina mecanicamente para frascos plástico de 100 mL usando um dispensador de 50 mL com solução de cloreto de amônio 0,8 mol/L em HCl 0,2 mol/L.

Deixou-se em repouso por meia hora para eliminação do CO<sub>2</sub> e retornou-se o conjunto para a mesa agitadora onde agitou por mais uma hora para a extração dos elementos citado acima que estava retido na resina, obtendo assim, um extrato para determinação analítica.

Com o uso de um dispensador diluidor, retirou-se 1 mL do extrato e 10 mL de solução de óxido de lantânio 1g/L onde foi feito a leitura de potássio, cálcio e magnésio .

### **3.5 Curva de calibração para potássio, cálcio e magnésio.**

Pipetou-se com o auxílio de uma pipeta automática, 1, 2, 3, 4, 5, 6 mL da solução padrão estoque mista citada acima para balões volumétricos de 50 mL e completou-se com solução cloreto de amônio 0,8 mol/L em HCl 0,2 mol/L, adicionou-se 2,5 mL de resina de troca iônica, com o objetivo que a curva de calibração contenha os mesmos reagentes do extrato do solo para análise. Preparou-se uma prova em branco com os mesmos reagentes da curva de calibração. O procedimento de espera para eliminar o CO<sub>2</sub> e agitação foi o mesmo que o extrato acima.

Com o uso de um dispensador diluidor, retirou-se 1 mL do extrato e 10 mL da solução de lantânio 1g/L, sendo esse procedimento o mesmo usado no extrato para a determinação do potássio, cálcio e magnésio no solo .

### **3.6 Diluição do solo**

Como descrito no procedimento para análise de cálcio, magnésio e potóssio, 2,5 cm<sup>3</sup> de solo foram diluídos para 50. Ou seja, o solo foi diluído 20 vezes e esse fator será multiplicado na concentração de todos os elementos da curva de calibração para otimização da análise (Facchini et al,1994). Otimização do procedimento usado na determinação de potássio, cálcio e magnésio em solos após extração com resinas de troca iônica.

O procedimento de diluição 1 mL do extrato e 10 mL de solução de lantânio foi utilizado na curva de calibração também, e essa diluição não será considerada para efeito de otimização da análise de solo. Ela tem como objetivo tornar a concentração de potássio, cálcio e magnésio na curva de calibração e no extrato do solo em uma faixa ótima de operação para aparelho de absorção atômica.

### **3.7 Procedimento de determinação do enxofre.**

Transferiu-se 10 cm<sup>3</sup> de solo preparado acima de todos os experimentos para copos plásticos de 100 mL. Adicionou-se 25 mL de solução extratora Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol/L e 0,25g de carvão ativado, agitou-se durante 30 minutos em mesa agitadora a uma velocidade de 220 rpm para promover a extração de enxofre. Filtrou-se em papel filtro faixa azul, obtendo assim o extrato para determinação do enxofre. Pipetou-se uma alíquota de 10 mL para frascos plásticos de 80 mL, adicionou-se 1 mL de solução HCl 50% com 20 ppm de S (enxofre). Adicionou-se 0,5 g de cristais de BaCl<sub>2</sub> e procedeu-se a leitura em espectrofotômetro a 420 nm.

### **3.8 Curva de calibração para enxofre.**

Pipetou-se com o auxílio de uma pipeta automática, 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16 e 20 mL da solução padrão estoque de enxofre 100 mg/L para balão volumétrico de 100 mL, completou-se o volume com solução extratora Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol/L e procedeu-se do mesmo modo que os extratos de solo.

### **3.9 Diluição do solo**

Como descrito no procedimento para análise de enxofre, 10 cm<sup>3</sup> de solo foram diluídos para 25. Ou seja, o solo foi diluído 2,5 vezes e esse fator será multiplicado na concentração do enxofre da curva de calibração para otimização da análise de enxofre.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 03 abaixo está os resultados analíticos do solo antes da montagem do experimento, onde: P(Res) é a quantidade de fósforo no solo; M.O a quantidade de matéria orgânica, pH o potencial de hidrogênio, K a quantidade de Potássio; Ca a quantidade de Cálcio; Mg a quantidade de Magnésio; H+Al a quantidade de acidez potencial; Al a quantidade de Alumínio tóxico; S.B. a soma de base; C.T.C. a capacidade de troca de cátion; V a porcentagem de nutrientes bons em reação ao somatório de bons e ruins, m a saturação de alumínio e S a quantidade de Enxofre.

P(Res)	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	C.T.C.	V	m	S
mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	-	----- mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						%	%	mg/dm <sup>3</sup>	
6	24	5,5	0,6	32	12	24	0	44,6	68,6	65,0	0,0	4

**Tabela 03** – Tabela de resultado de análise de solo

A tabela 03 foi construída com o objetivo de caracterizar o solo antes do experimento. Os parâmetros de potássio, cálcio, magnésio e enxofre serão utilizados para avaliar o possível arraste destes elementos com o uso do gesso. Os demais parâmetros foram analisados para se ter uma análise completa do solo com o objetivo de se fazer uma recomendação agrônômica de adubo com os elementos nitrogênio, fósforo e potássio e também o calcário para o cultivo de soja.

A figura 6 mostra os vasos com adição do gesso e dos nutrientes pronto para o plantio da soja e dar início ao experimento. Todos os vasos foram numerados e colados lado a lado.



**Figura 6** – Vaso com adição do gesso e dos nutrientes

Na figura 7 é possível ver a soja germinada e com 12 dias de plantio. Visualmente não se percebe diferença da soja nos vasos.



**Figura 7** – Vaso com 8 dias após a germinação da soja

Na figura 8 a soja está com 34 dias de plantio. Ainda continua sendo imperceptível diferença visual na soja plantada nos vasos com diferentes quantidades de gesso.



**Figura 8** – Vaso com 30 dias de germinação da soja

A figura 9 mostra o final do processo e a soja está com 90 após o plantio.



**Figura 9** – Vaso com 86 dias de germinação da soja

A figura 10 mostra a soja seca com 120 dias de plantio e pronta para colheita.



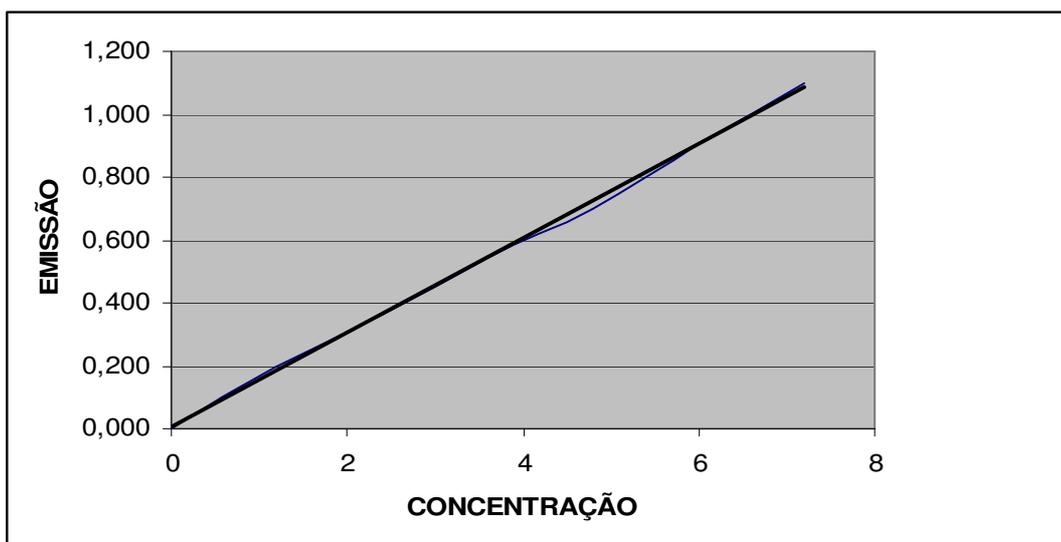
**Figura 10** – Vaso com 116 dias de germinação da soja

A tabela 04 representa dados da curva de calibração do potássio, a leitura foi feita em espectro de absorção atômica no comprimento de onda 766,5nm.

Concentração mmolc/dm <sup>3</sup> ) na curva	Concentração (mmolc/dm <sup>3</sup> ) x diluição	Emissão (766,5nm)
0,00	0,0	0,000
0,06	1,2	0,200
0,12	2,4	0,363
0,18	3,6	0,545
0,24	4,8	0,700
0,30	6,0	0,910
0,36	7,2	1,100

**Tabela 04:** curva de calibração do potássio.

A figura 11 representa a curva de calibração para cálculo do potássio e a mesma mostra que os pontos da curva estão bem alinhados, pois  $R=0,9994$  que um dado da regressão linear está próximo de 1 dando a confiabilidade necessária para o cálculo do elemento em questão.



**Figura 11:** Regressão linear para cálculo do potássio.

A equação (18) representa o cálculo do potássio, onde a concentração do potássio é obtida pelo valor da emissão da amostra menos 0,0036 que é o coeficiente linear, dividido por 0,1505 que representa o coeficiente angular.

$$[\text{potássio}] = \text{Emissão} - 0,0036 / 0,1505 \quad (18)$$

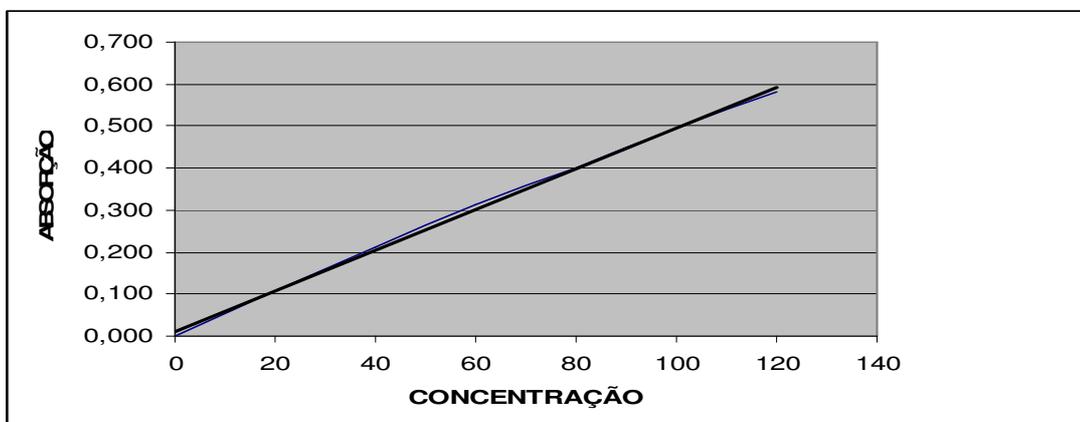
**Equação 18:** Equação para o cálculo do potássio.

A tabela 05 representa dados da curva de calibração do cálcio, a leitura foi feita em espectro de absorção atômica no comprimento de onda 422,3nm.

Concentração mmol/dm <sup>3</sup> ) na curva	Concentração (mmol/dm <sup>3</sup> ) x diluição	Absorção (422,3nm)
0,0	0,0	0,000
1,0	20,0	0,108
2,0	40,0	0,212
3,0	60,0	0,315
4,0	80,0	0,401
5,0	100,0	0,493
6,0	120,0	0,580

**Tabela 05:** curva de calibração do cálcio.

A figura 12 representa a curva de calibração para cálculo do cálcio e a mesma mostra que os pontos da curva estão bem alinhados, pois  $R=0,9990$  que um dado da regressão linear está próximo de 1 dando a confiabilidade necessária para o cálculo do elemento em questão.



**Figura 12:** regressão linear para cálculo do cálcio.

A equação (19) representa a fórmula para o cálculo do cálcio, onde a concentração do cálcio é obtida pelo valor da absorção da amostra menos 0,0121 que é o coeficiente linear, dividido por 0,0048 que representa o coeficiente angular

$$[\text{Cálcio}] = \text{Absorção} - 0,0121 / 0,0048 \quad (19)$$

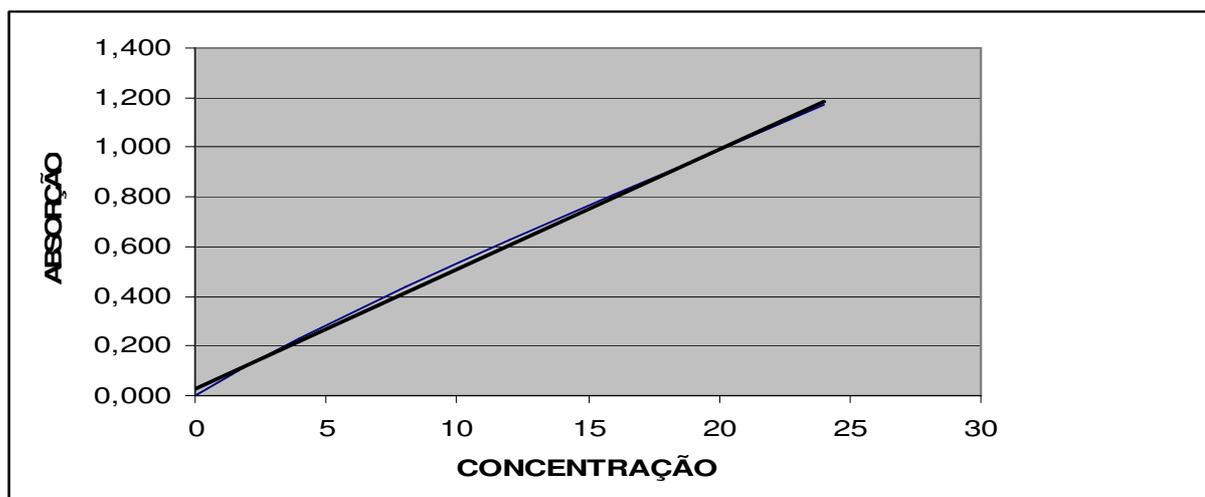
**Equação 19:** Equação para o cálculo do cálcio.

A tabela 06 representa dados da curva de calibração do magnésio, a leitura foi feita em espectro de absorção atômica no comprimento de onda 285,2nm.

Concentração mmol/dm <sup>3</sup> ) na curva	Concentração (mmol/dm <sup>3</sup> ) x diluição	Absorção (285,2nm)
0,0	0,0	0,000
0,2	4,0	0,228
0,4	8,0	0,439
0,6	12,0	0,624
0,8	16,0	0,805
1,0	20,0	0,990
1,2	24,0	1,170

**Tabela 06:** curva de calibração do magnésio.

A figura 13 representa a curva de calibração para cálculo do magnésio e a mesma mostra que os pontos da curva estão bem alinhados, pois  $R=0,9990$  que um dado da regressão linear está próximo de 1 dando a confiabilidade necessária para o cálculo do elemento em questão.



**Figura 13:** regressão linear para cálculo do magnésio.

A equação (20) representa a fórmula para o cálculo do magnésio, onde a concentração de magnésio é obtida pelo valor da emissão da amostra menos 0,00326 que é o coeficiente linear, dividido por 0,0479 que representa o coeficiente angular.

$$[\text{Magnésio}] = \text{Absorção} - 0,0326/0,0479 \quad (20)$$

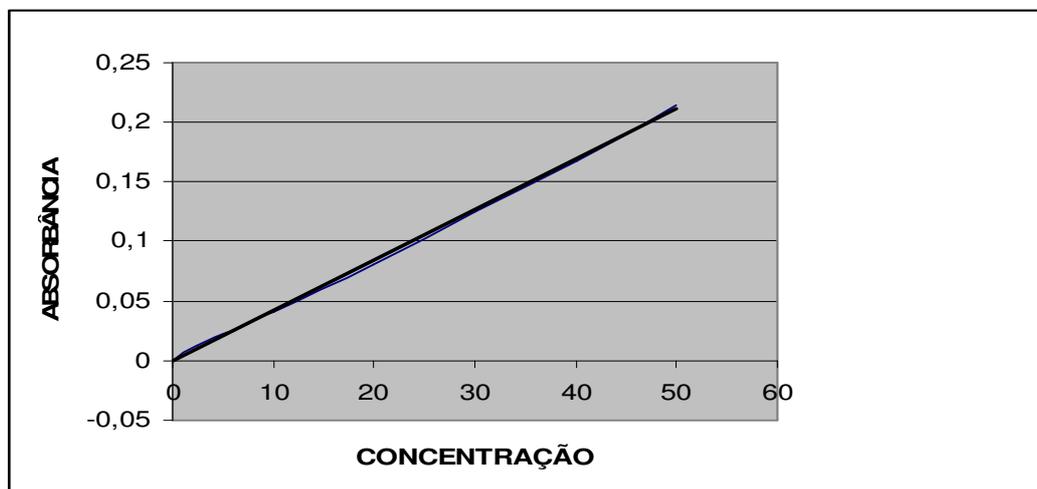
**Equação 20:** equação para o cálculo do magnésio.

A tabela 07 representa dados da curva de calibração do enxofre, a leitura foi feita em espectrofotômetro no comprimento de onda 420,0nm.

Concentração mg/dm <sup>3</sup> ) na curva	Concentração (mg/dm <sup>3</sup> ) x diluição	Absorbância (420,0 nm)
0,0	0,0	0,0000
1,0	2,5	0,0132
2,0	5,0	0,0223
4,0	10,0	0,0410
8,0	20,0	0,0809
12,0	30,0	0,1249
16,0	40,0	0,1675
20,0	50,0	0,2147

**Tabela 07:** curva de calibração do enxofre.

A figura 14 representa a curva de calibração para cálculo do enxofre e a mesma mostra que os pontos da curva estão bem alinhados, pois  $R=0,9994$  que um dado da regressão linear está próximo de 1 dando a confiabilidade necessária para o cálculo do elemento em questão.



**Figura 14:** regressão linear para cálculo do enxofre.

A equação (21) 35 representa a fórmula para o cálculo do enxofre, onde a concentração do enxofre é obtida pelo valor da absorvância da amostra menos 0,0001 que é o coeficiente linear, dividido por 0,0042 que representa o coeficiente angular.

$$[\text{Enxofre}] = \text{ABS} + 0,0001/0,0042 \quad (21)$$

**Equação 21:** equação para o cálculo do enxofre.

Tabela 08-Resultados de análises do potássio, cálcio, magnésio e enxofre dos sete vasos comparando a profundidade de (0-20) e (20-40) cm.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	Gesso (ton./alqueire)	K (mmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (mmolc/dm <sup>3</sup> )	Ca (mmolc/dm <sup>3</sup> )	S (mg/dm <sup>3</sup> )
Amostra inicial	0	0,6	12	32	4
Vaso 01 (00-20) cm	0	1,6	15	37	6
Vaso 01 (20-40) cm	0	0,5	12	33	5
Vaso 02 (00-20) cm	1	1,5	14	40	41
Vaso 02 (20-40) cm	1	0,5	13	38	49
Vaso 03 (00-20) cm	2	1,6	14	47	104
Vaso 03 (20-40) cm	2	0,5	14	43	126
Vaso 04 (00-20) cm	4	1,4	13	50	104
Vaso 04 (20-40) cm	4	0,5	16	57	155
Vaso 05 (00-20) cm	6	1,5	11	46	88
Vaso 05 (20-40) cm	6	0,5	15	46	138
Vaso 06 (00-20) cm	8	1,1	10	39	15
Vaso 06 (00-40) cm	8	0,4	10	32	22
Vaso 07 (00-20) cm	1	1,5	14	41	40
Vaso 07 (20-40) cm	1	0,5	12	38	49

**Tabela 08:** Resultados analíticos de potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

A tabela 08 mostra resultados analíticos de potássio, cálcio, magnésio e enxofre dos experimentos depois de decorridos quatorze meses e a mesma mostra a variação dos elementos nos sete vasos comparando todos os vasos e ao mesmo tempo a profundidade dos mesmos.

O vaso de nº 01 não recebeu gesso e o aumento do potássio de 0,6 mmolc/dm<sup>3</sup> para 1,6 mmolc/dm<sup>3</sup> na parte superior do vaso (00 a 20 cm), ficou por conta da adição do

nutriente aplicado. Com isso observa-se que o elemento não foi lixiviado para a parte inferior do vaso, pois na parte inferior do vaso a concentração de potássio ( $0,5 \text{ mmolc/dm}^3$ ) encontra é equivalente ao solo analisado na amostra inicial. O mesmo aconteceu nos demais vasos, ou seja, o elemento potássio não sofreu arraste independente da concentração de gesso utilizada.

O elemento magnésio estava presente no solo com concentração igual a  $12 \text{ mmolc/dm}^3$ , a adição deste nutriente, fez com que a concentração passe para  $15 \text{ mmolc/dm}^3$ . Os vasos 01, 02, 03 e 07 praticamente apresentaram o mesmo resultado. Na parte superior do vaso o aumento em relação a amostra inicial foi devido a adição do nutriente e na parte inferior o valor é similar a amostra inicial. O que permite concluir que não houve arraste. Os vasos 04 e 05 sofreram uma diminuição da concentração de magnésio na parte superior e aumento na parte inferior. O que permite crer que houve arraste para parte inferior do solo. Quando analisado o vaso 06 verifica-se que houve redução nas duas amostras, parte superior e inferior. Isto pode ser explicado com o arraste para além dos 40cm do vaso, pois a parte do fundo não estava bloqueada.

O cálcio está presente no solo ( $32 \text{ mmolc/dm}^3$ ) conforme análise da amostra inicial. A análise do vaso 1 permite afirmar que a adição do cálcio praticamente não contribui para o aumento de cálcio nas amostra, pois na superfície o valor após adição do calcário passou para  $37 \text{ mmolc/dm}^3$ . O aumento da concentração de cálcio na parte superior (00 – 20cm) dos demais vasos é devido a adição do gesso.

A concentração do enxofre no solo é de  $4 \text{ mg/dm}^3$ , conforme amostra inicial. Os valores de enxofre do vaso 01, sem adição de gesso, confirmam o valor da amostra inicial. A partir do vaso 02 ocorre um aumento do teor de enxofre tanto na parte superior quanto na inferior o que era de se esperar, pois o gesso ( $\text{Ca}_2\text{SO}_4$ ) contém enxofre na sua estrutura. A partir do vaso 02 ocorre um incremento na concentração de enxofre nas duas partes dos respectivos vasos. Sendo visível o arraste do enxofre para a parte de baixo do vaso, o que já era esperado. A partir da concentração de 5 ton./alqueire verifica-se que a fase superior diminui a concentração o que indica o arraste para a fase inferior, porém a fase inferior também apresenta valor menor o que permite concluir que o gesso atravessou os 40cm de solo.

O vaso de nº 07 que recebeu uma ton./alqueire de gesso obtido da neutralização de solução de ácido sulfúrico, proveniente de reciclagem de baterias. A quantidade de gesso aplicada neste vaso foi semelhante a quantidade utilizada no vaso 2. Todos os parâmetros avaliados tiveram resultados iguais para os dois vasos.

## 5. CONCLUSÃO

A análise química do solo dos experimentos mostrou que o excesso de gesso agrícola pode lixiviar nutrientes para o subsolo. Como o experimento foi feito em um tipo de solo com predominância em argila, não podemos generalizar.

O experimento mostrou que o enxofre lixivia facilmente na forma de  $\text{SO}_4^{2-}$ , pois a metodologia usada para a análise do mesmo determina S do  $\text{SO}_4^{2-}$ . Embora o vaso seis que recebeu maior dosagem de gesso mostrou pouca quantidade dos elementos em questão nas duas parcelas do vaso: (0-20)cm e (20-40)cm de profundidade, e como os vasos do experimento não tinham o fundo bloqueado, podemos concluir que a baixa concentração dos elementos avaliados sofreu arraste para além do vaso.

Podemos concluir que o potássio parecem não sofrer com o excesso de gesso. Do gesso podemos dizer que quando aplicado conscientemente cumpre o seu papel que é eliminar o alumínio tóxico, pois o  $\text{Al}^{3+}$  combina com o  $\text{SO}_4^{2-}$  formando o composto  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  que é menos tóxico para as plantas e isso já está comprovado através de experimentos por órgão competentes.

O gesso gerado na reciclagem de baterias tem o mesmo comportamento do gesso agrícola. Portanto, fica sugestão para trabalhos futuros avaliar o efeito de possível contaminação com chumbo atrapalharia o uso deste gesso com gesso agrícola.

## 6. REFERÊNCIAS

AGROMIND AGRÍCOLAS

[Disponível em: <http://www.gessoagricola.blogspot.com/>

Acesso: 10/03/2011

Disponível em:

**[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/correcao\\_acidez\\_fert\\_solo.htm#topo](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/correcao_acidez_fert_solo.htm#topo)**

Acesso: 10/03/2011

Acidez do Solo e calagem. Comitê de Pesquisa/ Técnico/ ANDA (Associação nacional para Difusão de Adubos e corretivos Agrícolas). S.Paulo, 1988, 16 p. 2ª Edição. 1.Solo – Acidez. 2. Solo-Calagem. 3. ANDA. I. Título.

Análise química para Avaliação da fertilidade de solos tropicais, editado por B. van Raij, J.C. de Andrade, H. Cantarella e J.A. Quaggio. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001.

ESWARAN, H; REICH, P; BEINROTH, F. Global distribution of soils with acidity. In: MONIZ et al. (Ed). FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT SOIL INTERACTIONS AT LOW PH, 1996. Campinas/Viçosa: Brazilian Society of Soil Science, 1997. p 159-164.

FACCHINI,I.; ABREU,M.F. de; ANDRADE,J. C. de; CANTARELLA, H Otimização do procedimento usado na determinação espectrofotométrica de fósforo em solos após extração com resinas de troca iônica. Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, v.18, p.7-13, 1994.

GOEDERT, W. J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **J. Soil Sei.** 34:405-428, 1983.

HARRINGTON, J.F.; SORENSEN, B. W. **O desenvolvimento das terras do cerrado do Brasil: A experiência do IRI do Brasil.** São Paulo: Ceres, 2004. 63p (Pub. Misc. nº 6)

LINDSAY, W.L.; NORVELL. W.A. Develoment of DTPA soil for zinc, iron, manganeze and copper. *Sail Science Society of Americana Journal*, Madison, v.42, .421-428,1978.

[Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87051998000100021&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87051998000100021&script=sci_arttext)

Acesso: 20/02/2011

LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”:** características, propriedades e manejo. Piracicaba: Potafos, 1983. 162p.

MALAVOLTA, E. 1979. ABC da Adubação. 4ª ed. Editora Agronômica Ceres Ltda., S. Paulo – a prática da calagem).

Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Biologia – CNPBS, No7, maio/92, p. 1-6 USO DE GESSO COMO INSUMO AGRÍCOLA.

[Disponível em: <http://www.ebah.com.br/gesso-agricola-pdf-a95774.html>

Acesso: 05/03/2011

OLMOS,I.L.J.; CAMARGO,M,N. Ocorreência de alumínio tóxico nos solos do Brasil: sua caracterização e distribuição. *Ciência e cultura* 28: 171-180, 1976.

RAIJ, Gesso na Agricultura/ Bernardo van Raij. Campinas: Instituto Agronômico, 2008.

RAIJ, B. VAN. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 1988. 88.

RAIJ, B. VAN. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforos em solos. R. brás. Ci. Solo 2: 1-9, 1978.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análises química de solos para fins de fertilidade. Campinas, Fundação cargill, 170p. 1987

ROBINSON, N. Phosphoric acid technology. In: Khasawneh, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPHATH, E. J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1980. p. 151-193.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. Agron. J. 72:40-44, 1980.