

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**CORREÇÃO DA ACIDEZ EM SUBSUPERFÍCIE EM
UM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARENOSA
SOB PLANTIO DIRETO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Otavio Bagiotto Rossato

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM SUBSUPERFÍCIE
EM UM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARENOSA
SOB PLANTIO DIRETO**

por

Otavio Bagiotto Rossato

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de
Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Nutrientes, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM SUBSUPERFÍCIE
EM UM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARENOSA
SOB PLANTIO DIRETO**

Elaborada por
Otávio Bagiotto Rossato

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Comissão Examinadora

**Carlos Alberto Ceretta, Dr.
(Presidente/Orientador)**

**Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)**

Cláudio Henrique Kray, Dr. (CEFET/BG)

Santa Maria, 29 de Janeiro de 2008.

À minha família

Ao meu pai, **Valmor** Piovesan Rossato (In memoriam)

que apesar de ter partido muito cedo,

deixou o exemplo de pessoa justa, simples, honesta e dedicada.

A minha mãe **Neiva** pelo apoio, conselhos, e exemplo de

vontade, determinação e superação.

Aos meus **irmãos** (Oberdan, Marisa e Melania) e **cunhados** pelo apoio

À **Jaqueline** minha companheira.....

Dedico esse trabalho

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Departamento de Solos pela oportunidade de cursar a graduação e mestrado e pelo suporte para a realização do trabalho.

Ao professor Carlos Alberto Ceretta, pela orientação, estímulo ao espírito de pesquisa, exemplo de dedicação, simplicidade e alegria. Muito obrigado por tudo, jamais esquecerei muitas de suas atitudes.

Aos professores Danilo Rheinheimer, Ricardo Dalmolin, José Miguel Reichert e Leandro Souza da Silva pelos ensinamentos e pelo apoio concedido no decorrer do curso.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação pelos ensinamentos e pela oportunidade de convívio.

Aos amigos e colegas Eduardo Giroto, Sidinei Stürmer, Jovani Zallamena, Ricardo Dellamea, Juliano de Andrade, Luiz e Luiza Escobar, Enrique Hahn, Jerusa, Eracilda Fontanella, Diovane Moterle, Stefen Pujol, Carlos Alberto Casali e demais colegas do PPGCS, pelas discussões no decorrer das disciplinas, pelas valiosas horas de convívio e boas recordações dos momentos de trabalho, lazer e alegria.

Ao colega Rodrigo Pizzani pelo companheirismo, pelas discussões, pelo chimarrão no fim de tarde e pelo convívio diário durante os dois anos.

Agradeço de maneira especial, aos amigos e bolsistas de iniciação científica Cledimar R. Lorenzi, Renan Costa Beber, Éder Trentin, Felipe Lorensini, Tadeu Tiecher, André Copetti e ao funcionário Luiz Francisco Finamor e demais colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do solo, pelo auxílio na realização do trabalho e convívio no decorrer destes dois anos.

À Gustavo Brunetto pela amizade e auxílio na realização das análises estatísticas e revisões.

À José Alan de Almeida Acosta pelos ensinamentos, oportunidades e apoio durante a graduação.

À família Facco, em especial a colega Daiane Facco, pelo interesse em ceder a área para a condução do experimento, pelo apoio na condução do experimento, entusiasmo, amizade e simplicidade.

A todos os técnicos e agricultores, que possam se valer deste trabalho para a melhoria de suas atividades.

À minha companheira de todas as horas, Jaqueline Cristiane Adorna, pela ajuda na realização do trabalho, pelo incentivo, carinho e amor, sem os quais jamais conseguiria realizar este trabalho.

Aos meus irmãos e cunhado(a)s pelo apoio, incentivo e suporte para continuar nesta jornada. Muito obrigado.

Enfim, agradeço ao apoio de todos que fizeram parte deste trabalho, e com certeza serão lembranças eternas em minha memória.

**“A construção de uma sociedade mais justa e fraterna
passa pela consciência e atitudes individuais”**

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO EM SUBSUPERFÍCIE EM UM LATOSSOLO DE TEXTURA FRANCO-ARENOSA SOB PLANTIO DIRETO

AUTOR: OTAVIO BAGIOTTO ROSSATO
ORIENTADOR: CARLOS ALBERTO CERETTA
Santa Maria, 29 de janeiro de 2008.

Em regiões tropicais e subtropicais, especialmente onde há a ocorrência de veranicos, a acidez subsuperficial (abaixo dos 10 cm) tem sido apontada como uma das causas de limitação ao crescimento de raízes e à produtividade agrícola. No estado do Rio Grande do Sul, nos últimos anos, existem relatos de que muitas áreas sob plantio direto não apresentam alumínio trocável na camada de 0-10 cm, mas nas camadas inferiores, são encontrados elevados teores de Al e baixa saturação por bases. Contudo, não existem informações que permitem inferir sobre a relevância destas condições em subsuperfície na produtividade das culturas. Este trabalho foi elaborado com o objetivo de avaliar se a ocorrência de alta saturação por alumínio e baixa saturação por bases em subsuperfície no plantio direto, pode representar um ambiente restritivo para o crescimento e produtividade das culturas, bem como avaliar técnicas para correção da acidez em subsuperfície. O experimento foi implantado em Tupanciretã, RS, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), de textura franco-arenosa. A área vinha sendo conduzida sob plantio direto, sendo que a condição inicial, na camada de 0-10 cm era de pH 5,5, saturação por Al de 0% e saturação de bases de 65%; na camada de 10-20 cm apresentava pH 5,1, saturação por Al de 24% e saturação por bases de 39%. Em julho de 2005 foram implantados os seguintes tratamentos: sem revolvimento e sem calcário; sem revolvimento e com calcário, 1 SMP - pH 6,0; lavração sem calcário; lavração com calcário, 1 SMP - pH 6,0; escarificação sem calcário; escarificação com calcário, 1 SMP - pH 6,0; baseado na amostra de 0-20 cm. As avaliações realizadas foram: produção de matéria seca, ciclagem de nutrientes (Ca, Mg, P, K e N), produtividade de grãos, distribuição do sistema radicular e análise econômica para a soja e o milho. Em amostras de solo coletadas aos 9 e 24 meses após a implantação do experimento, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm foram determinados os teores trocáveis de Ca, Mg e Al, pH H₂O, saturação por bases e saturação por Al, além dos teores de P disponível, K trocável e carbono orgânico. Todas as variáveis foram submetidas à análise da variância e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Os resultados mostram que acidez em subsuperfície (10-20 cm) não foi limitante à produtividade da soja e do milho quando a camada superficial (0-10 cm) estava em níveis recomendados pela CQFS-RS/SC (2004), o que não permitiu a definição do melhor modo de aplicação de calcário sob o ponto de vista de produtividade de grãos e viabilidade econômica, porém, a incorporação de calcário por lavração foi o modo mais eficiente de correção da acidez em subsuperfície.

Palavras chave: acidez, subsuperfície, plantio direto, modos de preparo do solo, calagem.

ABSTRACT

Master Dissertation in Soil Science
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

CORRECTION OF THE ACIDITY OF THE SOIL IN SUBSURFACE IN A OXISSOL OF FRANCO-SANDY TEXTURE UNDER NO TILLAGE

AUTHOR: OTAVIO BAGIOTTO ROSSATO
Adviser: CARLOS ALBERTO CERETTA
Santa Maria, January, 29, 2008.

In tropical and subtropical areas, especially, where there is the dry period occurrence, the acidity subsurface (below the 10 cm) it has been pointed as one of the limitation causes to the growth of roots and the agricultural productivity. In the state of Rio Grande do Sul, in the last years, reports exist that areas under no tillage that don't present exchangeable aluminum in the layer of 0-10 cm. However, in the inferior layers, they are found high content of Al and low saturation by bases (Martinazzo, 2006). However, information that allows inferring about the relevance of these conditions in subsurface in the productivity of the cultures doesn't exist. This work was elaborated with the objective of evaluating the occurrence of high saturation with aluminum and low saturation with bases, in subsurface in the no tillage, it can represent a restrictive atmosphere for the growth and productivity of the cultures, as well as to evaluate techniques for correction of the acidity in subsurface. The experiment was implanted in Tupanciretã, RS, in Rhodic Hapludox, of sandy loam texture. The area came being driven under no tillage, and the initial condition, in the layer of 0-10 cm was of pH 5,5, saturation for Al of 0% and saturation of bases of 65%; in the layer of 10-20 cm it presented pH 5,1, saturation for Al of 24% and saturation for bases of 39%. In July of 2005, the following treatments were implanted: without tillage and without limestone; without tillage and with limestone, 1 SMP - pH 6,0; plowing without limestone; plowing with limestone, 1 SMP - pH 6,0; chiseling without limestone; chiseling, with limestone, 1 SMP - pH 6,0; based on the sample of 0-20 cm. The accomplished evaluations were: productivity of grains, matter dries, cycling of nutrients (Ca, Mg, P, K e N) distribution of the system root and economical analysis for the soybean (*Glycine max* L. Merril) and the corn (*Zea mays* L.). In soil samples collected to the 9 and 24 months after the implantation of the experiment, in the layers of 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-30 cm, they were certain the exchangeable content of Ca, Mg and Al, pH H₂O, saturation for bases and saturation for Al, besides the content of P and K and organic carbon. All the variables were submitted to the analysis of the variance and when significant, the averages were compared by the test of Tukey to 5%. The results show that acidity in subsurface (10-20 cm) it was not limit to the productivity of the soybean and of the corn when the superficial layer was in levels recommended by CQFS-RS/SC (2004), what didn't allow the definition in the best way of limestone application under the point of view of productivity of grains and economical viability, however, the limestone incorporation for plowing was the most efficient way of correction of the acidity in subsurface.

Key words: acidity, subsoil, no-tillage, preparation manners soil, liming.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Atributos químicos do solo nas diferentes camadas antes da implantação do experimento.....	28
TABELA 2 - Produção de matéria seca, safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.....	61
TABELA 3 - Ciclagem de nutrientes, safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.....	62
TABELA 4 - Produtividade, safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.....	67
TABELA 5 - Análise econômica safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.....	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Densidade do solo antes da implantação do experimento.....	29
FIGURA 2 - Avaliação da distribuição do sistema radicular.....	34
FIGURA 3 - pH em H ₂ O em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.....	37
FIGURA 4 - pH em H ₂ O em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.....	38
FIGURA 5 - Cálcio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.....	40
FIGURA 6 - Cálcio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.....	41
FIGURA 7 - Magnésio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.....	42
FIGURA 8 - Magnésio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.....	43
FIGURA 9 - Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.....	44

FIGURA 10 - Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.....	45
FIGURA 11 - Saturação com alumínio em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.....	47
FIGURA 12 - Saturação com alumínio em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.....	48
FIGURA 13 - Saturação por bases em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.....	49
FIGURA 14 - Saturação por bases em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.....	50
FIGURA 15 - Fósforo disponível em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 (A) e 24(B) meses após a implantação do experimento.....	53
FIGURA 16 - Potássio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 (A) e 24(B) meses após a implantação do experimento.....	54
FIGURA 17 - Carbono orgânico em um Latossolo Vermelho, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 (A) e 24 (B) meses após a implantação do experimento.....	55
FIGURA 18 - Distribuição do sistema radicular da soja, em um Latossolo Vermelho submetido a modos de preparo e calagem.....	56
FIGURA 19 - Distribuição do sistema radicular do milho, em um Latossolo Vermelho submetido a modos de preparo e calagem.....	57

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Precipitação diária durante o ciclo da soja safra 2005/2006.....	82
APÊNDICE B - Precipitação diária durante o ciclo do milho safra 2006/2007.....	83
APÊNDICE C - Estimativa dos custos das operações realizadas e insumos utilizados para a implantação dos tratamentos.....	84
APÊNDICE D - Estimativa dos custos das operações realizadas e insumos utilizados para a soja e milho, safras 2005/2006 e 2006/2007.....	84
APÊNDICE E - Análise da variância para a produção de MS da soja.....	85
APÊNDICE F - Análise da variância para a produção de MS do milho.....	85
APÊNDICE G - Análise da variância para a MS acumulada soja e milho.....	85
APÊNDICE H - Análise da variância para a produção de grãos de soja.....	86
APÊNDICE I - Análise da variância para a produção de grãos de milho.....	86
APÊNDICE J - Análise da variância para a produção de grãos acumulada.....	86
APÊNDICE K - Análise da variância para a margem líquida safras 2005/2006 e 2006/2007.....	87
APÊNDICE L - Análise da variância para a ciclagem de N para a soja.....	87
APÊNDICE M - Análise da variância para a ciclagem de P para a soja.....	87
APÊNDICE N - Análise da variância para a ciclagem de K para a soja.....	88
APÊNDICE O - Análise da variância para a ciclagem de Ca para a soja.....	88
APÊNDICE P - Análise da variância para a ciclagem de Mg para a soja.....	88
APÊNDICE Q - Análise da variância para a ciclagem de N para o milho.....	89
APÊNDICE R - Análise da variância para a ciclagem de P para o milho.....	89
APÊNDICE S - Análise da variância para a ciclagem de K para o milho.....	89
APÊNDICE T - Análise da variância para a ciclagem de Ca para o milho.....	90
APÊNDICE U - Análise da variância para a ciclagem de Mg para o milho.....	90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Acidez do solo em plantio direto.....	16
2.2 Toxidez de alumínio.....	17
2.3 Calagem.....	19
2.4 Efeitos em profundidade da calagem superficial.....	20
2.5 Resposta das culturas a calagem.....	23
2.6 Modos de preparo e incorporação de calcário.....	25
2.7 Hipóteses.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	28
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	29
3.3 Implantação das culturas.....	30
3.4 Avaliações realizadas.....	31
3.4.1 Produção de matéria seca e produtividade de grãos.....	31
3.4.2 Análise do tecido vegetal.....	32
3.4.3 Análise de solo.....	32
3.5 Distribuição do sistema radicular no perfil.....	33
3.6 Análise econômica.....	34
3.7 Análise estatística.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Atributos químicos do solo.....	36
4.2 Distribuição do sistema radicular.....	55
4.3 Produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes.....	58
4.4 Produtividade de grãos.....	63

4.5 Análise econômica.....	68
5 CONCLUSÕES.....	71
5.1 Considerações finais.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICES.....	81

1 INTRODUÇÃO

O processo de acidificação de solos tropicais e subtropicais inicia com a solubilização da rocha, com posterior perda de cátions do solo associada à retenção preferencial de cátions de maior valência, como o alumínio, nos sítios de troca dos argilominerais e da matéria orgânica. O alumínio, em geral, causa a paralisação do crescimento das raízes e seu engrossamento, devido ao enrijecimento da parede e a inibição da divisão celular que por sua vez, altera a absorção e utilização de nutrientes.

As áreas sob plantio direto no Brasil tiveram um acentuado aumento na década de 90, principalmente na região Sul e continuam crescendo, atingindo na safra 2005/2006, cerca de 25,5 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2007). Entretanto, em apenas uma pequena parte destas áreas foram seguidas às recomendações preconizadas para a introdução deste sistema, sendo que apenas se parou de revolver o solo e se introduziu o plantio direto sem fazer as devidas correções.

A partir do início da década de 90, foram desenvolvidos alguns trabalhos em áreas sob plantio direto, na região sul do Brasil para verificar o efeito da aplicação superficial de calcário em profundidade, evidenciando que a calagem superficial em áreas sob plantio direto tem proporcionado alterações nos atributos químicos no perfil do solo, melhorando o ambiente para o crescimento das raízes. Porém, a sua eficiência limita-se a poucos centímetros da superfície, principalmente em áreas com impedimento físico causado por compactação ou selamento de poros (Kaminski et al. 2005).

Após a introdução do plantio direto, também começou a se observar menor resposta das culturas à aplicação de calcário, sendo esta menor resposta atribuída a menor perda de solo e nutrientes, ao efeito residual do calcário de aplicações anteriores, ao aumento nos teores de MO e nutrientes como o fósforo e potássio na camada superficial, propiciando uma menor atividade do Al^{+3} em solução no plantio direto (Salet, 1999).

A partir dessas observações foram elaboradas as recomendações de calagem para o plantio direto consolidado (CQFS-RS/SC 2004), no qual a amostragem do solo deve ser feito na camada 0-10 cm e os critérios usados para determinar a necessidade de calagem são $pH \leq 5,5$ e saturação por bases $\leq 65\%$,

sendo que se apenas um dos critérios for atendido não se aplica calcário quando a saturação por alumínio for $\leq 10\%$ e se o teor de fósforo for muito alto. Quando necessário a aplicação de calcário, a dose recomendada é baseada no índice SMP, onde neste caso a indicação é de $\frac{1}{2}$ SMP para elevar o pH a 5,5 sendo recomendado a aplicação superficial.

Porém, no estado do Rio Grande do Sul, o trabalho de Martinazzo (2006) evidenciou que grande parte das áreas sob plantio direto não apresentam alumínio trocável na camada de 0-10 cm, mas, nas camadas inferiores, são encontrados elevados teores de alumínio e baixa saturação por bases. Contudo, não existem informações que permitem inferir sobre a relevância destas condições em subsuperfície na produtividade das culturas.

Se esta condição em subsuperfície reduzir à produtividade das culturas, a incorporação de calcário se faz necessário. Entretanto, no sistema plantio convencional, o modo utilizado para a incorporação do calcário sempre foi a lavração e a gradagem, considerado um dos métodos mais eficientes na distribuição no perfil do solo do corretivo de acidez. Porém, nos últimos anos alguns trabalhos têm sido desenvolvidos, em áreas sob plantio direto, na busca de maneiras mais eficientes de conseguir incorporar calcário, com menor custo, menor desestruturação e riscos de erosão. Assim, tem-se usado equipamentos como escarificador e subsolador para a incorporação de calcário e também como modo de preparo a fim de romper camadas compactadas em profundidade.

Então, o objetivo geral deste estudo foi avaliar se a ocorrência de alta saturação com alumínio e muito baixa saturação por bases, na camada 10-20 cm no plantio direto, pode representar um ambiente restritivo para o crescimento e produtividade das culturas, bem como avaliar técnicas para correção da acidez em subsuperfície. Os objetivos específicos foram: a) avaliar alterações em alguns atributos químicos do solo ao longo do tempo quando o solo é submetido a modos de preparo e calagem; b) avaliar o efeito sobre parâmetros de plantas (como produção de matéria seca, ciclagem de nutrientes e produtividade da soja e milho) quando o solo é submetido a modos de preparo e calagem; e c) analisar os reflexos econômicos dos modos de preparo e calagem sobre os custos de produção e margem líquida em lavouras de soja e milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Acidez do solo em plantio direto

O processo de acidificação de solos tropicais e subtropicais inicia com a solubilização da rocha, com posterior perda de cátions como o Ca, Mg e K associada à retenção preferencial de cátions de maior valência, como o alumínio, nos sítios de troca dos argilominerais e da matéria orgânica. Entre as causas químicas capazes de ocasionar a acidez do solo, destacam-se a água da chuva (dissociação do ácido carbônico - H_2CO_3), a decomposição de materiais orgânicos (dissociação de prótons de grupamentos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica e de restos culturais), a adição de fertilizantes nitrogenados (nitrificação e lixiviação de nitrato), a liberação de íons H^+ pelas raízes (manutenção da eletroneutralidade quando da absorção de cátions) e a hidrólise do alumínio presente na solução do solo (liberação de íons H^+) (Bohnen et al. 2006).

Na década de 90, houve um aumento expressivo na área cultivada sob plantio direto. No Brasil, segundo dados da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FEBRAPDP, 2007), a área cultivada passou de aproximadamente 900 mil hectares para cerca de 14,3 milhões de hectares, do início até o final desta década. Na safra 2005/2006 a área cultivada sob plantio direto atingiu cerca de 25,5 milhões de hectares.

O plantio direto apresenta características distintas em relação ao sistema convencional de preparo, principalmente em relação ao não revolvimento do solo, o que condiciona uma maior concentração de nutrientes e matéria orgânica na camada superficial (Muzzili, 1983; Anghinoni; Salet, 2000; Rheinheimer et al. 2000b). De forma geral, o cultivo contínuo do solo propicia a sua acidificação independente do sistema de manejo (Bohnen et al. 2006), porém a magnitude e a velocidade dos processos de acidificação do solo no plantio direto são diferentes daquelas apresentadas pelo sistema convencional (Paiva et al. 1996).

A decomposição de resíduos culturais e o uso de adubos nitrogenados depositados na superfície do solo contribuem para a acidificação da camada superficial do solo, formando um gradiente de pH a partir da superfície, chamado de

frente de acidificação (Blevins et al. 1983). Esse abaixamento do pH pode se tornar limitante à produção vegetal, em função da toxidez de alumínio e/ou de manganês e do desbalanço na disponibilidade de nutrientes às plantas.

Porém, no RS, tem se verificado nos últimos anos, elevado percentual de lavouras sob plantio direto consolidado com elevada acidez na camada de 10-20 cm de profundidade, enquanto na camada superficial (0-10 cm) existem menores percentuais de áreas com elevada acidez (Martinazzo, 2006). Isto se deve, em grande parte, a negligência da correção da acidez em profundidade por ocasião da introdução do plantio direto. Associado a este fato, a maioria das aplicações de calcário em áreas sob plantio direto, foram e estão sendo realizadas na superfície do solo, e com doses abaixo do recomendado, o que proporciona, na maioria dos casos, a correção da acidez apenas na camada superficial.

2.2 Toxidez de alumínio

O alumínio, em geral, causa a paralisação do crescimento das raízes e seu engrossamento, devido ao enrijecimento da parede e a inibição da divisão celular (Foy; Fleming, 1978), que por sua vez, altera a absorção e utilização de nutrientes, especialmente o fósforo (Canal; Mielniczuk, 1983). As plantas submetidas ao estresse por alumínio têm o crescimento radicular diminuído, ramificação deficiente, raízes curtas e grossas o que diminui o volume de solo explorado, além de inibir a absorção e translocação de fósforo e cálcio (Rheinheimer et al. 1994). Os parâmetros de absorção de nutrientes também são afetados indicando que há interferência na eficiência dos carregadores, exigindo concentrações mais altas dos nutrientes (Petry et al. 1994; Vilela; Anghinoni, 1984). Alguns experimentos têm demonstrado que o efeito da toxidez de alumínio é mais pronunciado quando atinge as plantas logo após a germinação (Rheinheimer et al. 1994). Isso justificaria a aplicação de calcário na superfície do solo, que permitiria a germinação das sementes e o crescimento inicial das raízes em um ambiente sem alumínio, e quando as raízes atingissem a região com elevados teores de Al, já estariam em

condições de acionar os seus mecanismos de tolerância (Kaminski; Rheinheimer, 2000).

Os mecanismos que parecem estar envolvidos na adaptação de plantas ao excesso de alumínio são, segundo Keltjens (1997), os seguintes: a) imobilização de Al^{+3} , $Al(OH)^{2+}$ e $Al(OH)_2$ na rizosfera pela elevação do pH; b) diminuição na taxa de absorção e/ou aumento nas taxas de imobilização interna de espécies fitotóxicas de Al; c) excreção radicular de exsudatos, como ácidos orgânicos (málico e cítrico) e polipeptídeos que possuem ação quelante sobre o íon alumínio no apoplasto celular das raízes e na rizosfera; d) associação micorrízica com raízes de plantas promovendo aumento na absorção de fósforo e ação hormonal protetiva.

As plantas de forma geral diferem grandemente em relação ao seu comportamento na presença de alumínio tóxico e esta variabilidade é encontrada entre espécies como até entre cultivares da mesma espécie (Aniol, 1984). Portanto o uso de adubações e calagem racionais associadas a genótipos adaptados a condições de solo ácido, é uma estratégia muito interessante para o uso destes solos.

A quantidade de alumínio na solução do solo, de maneira geral, aumenta com a acidez do solo. A alta atividade do hidrogênio em solução reflete-se em baixos valores de pH, favorecendo a percolação de bases e permitindo que o alumínio se torne o cátion predominante no complexo de troca. Assim, à medida que avança a intemperização, ocorre à perda de bases, aumentando à capacidade de retenção de ânions, aumentando a concentração e atividade do alumínio, o que torna o ambiente do solo desfavorável ao crescimento radicular, podendo restringir o desenvolvimento e produtividade das culturas (Anghinoni; Bissani, 2004).

Em sistemas onde proporcionam aumentos nos teores de matéria orgânica na camada superficial, é citado que a matéria orgânica poderia passar de fonte a dreno de alumínio na solução do solo, pelo menos temporariamente (Kaminski; Rheinheimer, 2000), sendo que, à medida que os teores de matéria orgânica aumentam, também aumentam os teores de alumínio armazenado com maior estabilidade e menor labilidade. No entanto, mesmo que os valores de matéria orgânica retornem aos níveis originais, a dinâmica do alumínio não será a mesma, uma vez que foram adicionados corretivos de acidez e seu efeito é extremamente longo (Azevedo et al. 1996), necessitando de muitos anos para que as quantidades de alumínio trocável retornem aos níveis iniciais. Os teores de cálcio e magnésio

mantêm-se em níveis mais elevados do que nos solos virgens, também diminuindo a saturação e atividade de alumínio.

De maneira geral, a produtividade se mantém elevada mesmo com a presença de Al trocável no plantio direto consolidado (Caíres et al. 1998). Este fato tem sido relacionado a uma menor concentração de espécies de Al consideradas tóxicas (Al^{3+} e $AlOH^{2+}$) e uma maior concentração de Al complexado com ligantes orgânicos, que determinam sua menor atividade (Salet et al. 1999). Além disso, a elevação dos teores, principalmente de fósforo e potássio na superfície do solo em áreas sob plantio direto, propicia menor atividade do Al na solução do solo.

2.3 Calagem

A calagem é uma das práticas agrícolas menos dispendiosas e efetivas na melhoria das condições do ambiente em que as plantas se desenvolvem, principalmente, pela elevação do pH, neutralização do Al e Mn, fornecimento de Ca e de Mg, além de influenciar na disponibilidade de outros nutrientes, caracterizando um insumo de vital importância para o desenvolvimento das culturas (Volkweiss, 1989).

A correção da acidez do solo é realizada pela aplicação de produtos de reação básica, que apresentam como principais compostos neutralizantes, os carbonatos de cálcio e de magnésio ($CaCO_3$ e $MgCO_3$) nos calcários agrícolas; óxidos de cálcio e de magnésio (CaO e MgO) na cal virgem; e hidróxidos de cálcio e de magnésio ($Ca(OH)_2$ e $Mg(OH)_2$) na cal apagada (Alcarde, 1983; Tedesco; Gianello, 2000). Os corretivos mais comumente utilizados são os calcários agrícolas, produto da moagem das rochas calcárias, sendo constituídos principalmente pela calcita ($CaCO_3$) e pela dolomita ($Ca.Mg(CO_3)_2$), em proporções variáveis, dependendo dos teores de carbonatos presentes.

A calagem é uma prática necessária para a obtenção de altas produtividades em solos ácidos. Devido a sua baixa solubilidade, a eficiência do calcário depende de alguns fatores como: contato das partículas de calcário com o solo, o tempo de reação ou antecedência de aplicação em relação aos períodos de demanda das culturas, a granulometria, o conteúdo em material neutralizante, a quantidade de

calcário aplicada, a umidade do solo, a uniformidade de aplicação e incorporação ao solo, entre outros (Anghinoni; Bissani, 2004).

A velocidade com que o corretivo reage com o solo é influenciada pela sua taxa de dissolução, devido à variação no conteúdo de carbonatos presentes no corretivo. As reações de solubilização em condições normais de solos ácidos são lentas e dependem basicamente da velocidade de difusão dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} , HCO_3^- e OH^- no solo, a partir da partícula do corretivo, do grau de acidez do solo e da presença de água (Tedesco; Gianello, 2000).

Atualmente no RS, o diagnóstico da acidez do solo é realizado a partir dos valores de pH em água e porcentagem da saturação por bases, sendo as amostras coletadas na camada 0-10 cm no plantio direto consolidado. Considerando que durante a implantação do plantio direto a correção do solo foi realizada de forma adequada até 20 cm de profundidade, a correção da acidez deve ser realizada apenas para neutralizar a acidez gerada na superfície do solo. Conforme as recomendações da CQFS-RS/SC (2004) para fornecer condições favoráveis ao desenvolvimento das principais culturas, o pH do solo deve ser igual ou superior a 5,5 e a saturação por bases maior ou igual que 65% ou caso apenas um dos critérios for atendido, não aplicar calcário quando a saturação por Al for menor que 10% e o teor de fósforo for muito alto. A quantidade de calcário recomendada é baseada no índice SMP, sendo que para o plantio direto consolidado a quantidade é de $\frac{1}{2}$ SMP, para elevar o pH 5,5, sendo a forma de aplicação superficial.

2.4 Efeitos em profundidade da calagem superficial

A aplicação superficial de calcário, sem incorporação, proporciona um menor contato entre as partículas de solo e corretivo em comparação à aplicação com incorporação, determinando que as reações de dissolução ocorram basicamente na superfície do solo.

Os efeitos da calagem superficial só ocorrem em profundidade após o pH na zona de dissolução do calcário ter atingido valores acima de 5,5 (Pavan; Roth, 1992). Enquanto existirem cátions de reação ácida da solução do solo (H^{+1} , Al^{+3} , Fe^{+2} , Mn^{+2}), a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial,

retardando o efeito na subsuperfície. Para que ocorra a neutralização da acidez em profundidade, os produtos da dissociação do calcário têm de ser arrastados para camadas inferiores (Rheinheimer et al. 2000a). Além disso, o aumento da CTC, pela elevação do pH, aumenta a retenção de cátions e, com isso, diminui a migração dos cátions para camadas mais profundas.

Os prótons acentuam a dissolução e a conseqüente dissociação do calcário e, à medida que o pH da solução do solo aumenta, em função do consumo de calcário, a quantidade de íons CO_3^{-2} na solução disponível para neutralizar outros prótons diminui. A baixos valores de pH, a taxa de geração de OH^- é superior a sua taxa de consumo, de forma que o pH da solução do solo aumenta. No pH de 8,3, essas duas taxas se igualam e a concentração de OH^- permanece constante. Conseqüentemente, as concentrações dos íons CO_3^{-2} e Ca^{+2} em solução não variam mais, cessando o consumo do carbonato de cálcio sólido. Desse modo, a reaplicação de calcário na superfície de um solo cujo pH do primeiro centímetro de solo seja elevado, desfavorece a sua solubilização (Kaminski et al. 2007).

Na calagem superficial, há uma frente alcalinizante que avança no perfil do solo, porém os processos que promovem a migração dos agentes de neutralização da acidez ainda estão em discussão. De acordo com Miyazawa et al. (1993) e Franchini et al. (1999) as substâncias orgânicas hidrossolúveis, promoveriam a migração de cálcio e aliviariam os efeitos deletérios do alumínio. Já, Petrere; Anghinoni (2001) e Amaral (2002) identificaram partículas de calcário abaixo da região de aplicação, que migrariam via dutos formados por macroporos, o que propiciaria a correção da acidez com a elevação do pH, não tendo este último autor observado contribuição significativa de compostos orgânicos na melhoria do ambiente radicular em profundidade. Essa frente de neutralização, ao avançar no perfil, altera algumas propriedades do solo, cuja taxa de progressão depende da disponibilidade de água, dose e granulometria de calcário aplicada, do tempo decorrido, das próprias características físicas e químicas do solo (Caires et al. 1998; Gatiboni et al. 2003).

A partir da década de 90, na região Sul, diversos trabalhos foram realizados sob áreas de campo nativo e plantio direto para verificar a eficiência da calagem superficial e incorporada e seus efeitos em profundidade (Cassol, 1995; Santos, 1997; Pöttker; Ben, 1998; Caíres et al. 1998; 1999; 2000; 2003; 2006; Rheinheimer et al. 1998; Neto et al. 2000; Rheinheimer et al. 2000; Moreira et al. 2001; Amaral;

Anghinoni, 2001; Gatiboni et al. 2003; Ciotta et al. 2004; Fidalski; Tormena, 2005; Kaminski, et al. 2005 e Holzschuh, 2007).

Em alguns trabalhos onde se aplica a dose integral de corretivo em superfície em solos arenosos ou em solos com alta macroporosidade e as avaliações são feitas após longo período de tempo, os efeitos da calagem superficial são percebidos em maior profundidade no perfil (Caíres et al. 1998; Rheinheimer et al. 2000b; Petreire; Anghinoni, 2001; Amaral, 2002; Gatiboni et al. 2003). Um exemplo é o trabalho de Kaminski et al. (2005), onde após a aplicação superficial da dose de calcário para elevar o pH do solo a 6,0 (17 Mg ha^{-1}) alterou, aos 84 meses da aplicação do calcário, o pH em água até os 10 cm, o alumínio trocável até os 17,5 cm, o cálcio trocável até os 20 cm e o magnésio trocável até os 25 cm.

Porém, os mesmos autores relatam que a comparação por métodos estatísticos assumindo-se como efeito da calagem a diferença significativa entre a propriedade observada no tratamento e a condição natural ou o tratamento controle, independente da relevância agronômica da diferença, pode não ser uma boa forma de interpretar os dados, visto que existem casos em que alterações de apenas 0,1 unidades de pH ou diminuição de 3-4% na saturação por Al serem significativas estatisticamente, porém sem nenhuma relevância agronômica. Por isso é sugerido avaliar a eficiência da calagem assumindo que somente será efetiva quando os valores dos atributos químicos do solo forem não só enquadrados em uma faixa preestabelecida, de acordo com a probabilidade de resposta de plantas sensíveis a acidez, mas também alcançarem valores considerados adequados ao crescimento das plantas.

Dentre os trabalhos realizados em áreas sob plantio direto, Cassol (1995), Pöttker; Ben (1998), Rheinheimer et al. (2000), Amaral; Anghinoni (2001), Moreira et al. (2001), Ciotta et al. (2004) e Caires et al. (2006) sob diferentes períodos de avaliação, observa-se que, apesar de, em alguns casos, haverem efeitos da calagem superficial além dos 10 cm de profundidade, a neutralização de todo o Al trocável, ocorre apenas nos primeiros 10 cm de profundidade. Então, tem se observado que a calagem superficial em áreas sob plantio direto tem proporcionado alterações nos atributos químicos no perfil do solo, melhorando o ambiente para o crescimento das raízes, porém, a sua eficiência limita-se a poucos centímetros da superfície, principalmente em áreas com impedimento físico causado por compactação ou selamento de poros (Kaminski et al. 2005).

No plantio direto, em muitas situações há presença de alta saturação por alumínio trocável e presença de camada compactada, além da baixa disponibilidade de fósforo na subsuperfície (Martinazzo, 2006). A questão que se levanta é que não se pode continuar acreditando na possibilidade de, a partir de aplicações superficiais, neutralizar totalmente o alumínio trocável do solo de camadas profundas num solo com presença de camadas compactadas e, conseqüentemente, baixa macroporosidade e com produtividades das culturas comerciais e das plantas de cobertura abaixo da média local (Kaminski et al, 2007). Assim, existirão situações nas quais será possível conduzir o sistema plantio direto com reaplicações de calcário em superfície, enquanto que em outras situações seria recomendada a incorporação do corretivo da acidez e reiniciar o sistema para que, quando da reacidificação do solo, seja possível a reaplicação superficial (Kaminski et al, 2007).

2.5 Resposta das culturas à calagem

Em muitos trabalhos tem se verificado que, mesmo em condições que seria necessária a calagem, em áreas sob plantio direto, para adequar a parâmetros considerados ideais, observa-se que não ocorre resposta das culturas à aplicação de calcário (Pöttker; Ben 1998; Caíres et al. 1998; Caíres et al. 1999; Caíres et al. 2000; Rheinheimer et al. 2000; Caíres et al. 2004 e Holzschuh, 2007).

A falta ou pequena resposta das culturas à aplicação de calcário, que ocorre em solos sob plantio direto, demonstra que o efeito residual do calcário aplicado por ocasião da sua instalação ou ainda residual de aplicações realizadas no sistema plantio convencional podem afetar positivamente a produtividade das culturas por um longo período. Além disso, verifica-se que, com a introdução do plantio direto, ocorreu um aumento nos teores de MO na camada superficial, além da concentração de nutrientes como o fósforo e potássio. Isto propicia uma menor atividade do Al^{+3} em solução (Salet, 1999), propiciando uma menor restrição ao crescimento radicular nas camadas superficiais.

Adicionalmente, no plantio direto os valores dos atributos da acidez do solo analisados como um todo podem não representar o real ambiente de crescimento radicular, uma vez que há crescimento preferencial das raízes em bioporos, cujo

ambiente é mais favorável (Gassen; Kochhann, 1998). Outro fator que contribui para a falta de resposta à calagem em áreas sob plantio direto é que o desenvolvimento inicial das raízes ocorre em um ambiente com baixos teores de Al, e quando as raízes atingem camadas com maiores teores, elas toleram melhor sua presença, como observado por Rheinheimer et al. (1994) na cultura do fumo.

Na interpretação dos resultados de resposta a calagem, outro fator a se considerar são as flutuações das condições climatológicas. Em condições de boa distribuição da precipitação pluvial, onde o solo é mantido com umidade, sem deficiência hídrica, os resultados parecem mostrar que a acidez do solo passa a não comprometer tanto as produções, pela existência de maior disponibilidade de água, sendo que as plantas não necessitam aprofundar tanto o sistema radicular na busca de água e nutrientes (Gonzales-Erico et al. 1979; Freire, 1984).

Em solos cuja fertilidade natural é baixa e a acidez é elevada, o suprimento de elementos essenciais pode não ser adequado para a obtenção de boas colheitas e os riscos de deficiência hídrica são muito elevados, visto que o desenvolvimento das raízes se concentra na camada superficial, mais rica em nutrientes e matéria orgânica. Em regiões tropicais, especialmente onde há a ocorrência de veranicos, a acidez do subsolo tem sido apontada como uma das principais causas de limitação à produtividade agrícola e ao crescimento de raízes (Quaggio et al. 1993). A toxicidade causada pelo Al, somada a deficiência de cálcio em solos do cerrado, tem sido apontada, também, como restritiva ao crescimento radicular (Souza, 2004).

Estudos desenvolvidos no Cerrado brasileiro, apontaram a elevada saturação com Al em subsuperfície como causa da redução do rendimento das culturas (González-Érico et al. 1979). Doss; Lund (1975) estudaram o efeito do pH do subsolo sobre o desenvolvimento do sistema radicular, parte aérea e na produtividade de algodão, e constataram que estes eram afetados negativamente quando ocorria certo déficit hídrico durante o período vegetativo da cultura. Enquanto que as precipitações eram suficientes, não ocorriam diferenças significativas.

2.6 Modos de preparo e incorporação de calcário

Hoje, em muitas áreas sob plantio direto se busca maneiras para reduzir os impedimentos ao crescimento radicular em profundidade. Isto pode ser realizado através do uso de culturas de cobertura, com grande capacidade de penetrar em camadas compactadas (Abreu et al. 2004) ou com elevados teores de Al e baixos teores de nutrientes, melhorando o ambiente radicular para o crescimento de espécies menos adaptadas a estas condições. Estes impedimentos, também podem ser reduzidos pelo revolvimento do solo, através de diferentes modos de preparo e incorporação de corretivos de acidez e adubos.

Em geral, no sistema plantio convencional, o modo mais utilizado para a incorporação do calcário e também como prática agrícola sempre foi a lavração e a gradagem, sendo considerado um dos métodos mais eficientes na distribuição no perfil do solo do corretivo de acidez. Porém, nos últimos anos, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos em áreas sob plantio direto na buscando maneiras mais eficientes de conseguir incorporar calcário, com menor custo, menor desestruturação e riscos de erosão que a lavração e gradagem. Assim, tem-se usado equipamentos como escarificador e subsolador para a incorporação de calcário. Porém, as incorporações de calcário com estes equipamentos restringem-se a camada superficial, não incorporando satisfatoriamente o calcário com uniformidade em profundidade e horizontalmente (De Souza, 1989). Neto et al. (2000) verificaram que quando o calcário foi incorporado com escarificador e duas passadas com grade niveladora os efeitos da calagem se restringiram apenas a 10 cm de profundidade, três meses após a calagem.

A utilização de um subsolador com dispositivo acoplado visando à incorporação de calcário em profundidade foi proposta por Richards et al. (1995). Os autores destacam que com a incorporação de calcário, ocorreu um incremento de Ca e redução da toxidez de alumínio, sendo uma excelente estratégia para melhorar o ambiente ao crescimento profundo do sistema radicular. Seguindo nesta mesma tendência, Klein et al. (2006) usou um equipamento que escarifica o solo até a profundidade de 0,25 m e, por meio de um dosador mecânico e distribuidor pneumático, injeta calcário com o auxílio de uma tubulação acoplada na parte posterior das hastes. Esses autores verificaram que na área onde houve escarificação com injeção de calcário, ocorreu uma correção até 0,20 m de profundidade. Isto mostra que este tipo de equipamento poderá ser utilizado no futuro, na correção de problemas químicos em profundidade sem causar a mesma

desestruturação do solo e riscos de erosão que outros métodos, como a lavração e gradagem podem causar.

Além da possibilidade da melhoria dos atributos químicos pela incorporação do calcário, esta prática pode facilitar o desenvolvimento radicular das plantas, elevar a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água, aumentar a permeabilidade do solo (Kochhann; Denardin, 2000) e reduzir a resistência mecânica do solo à penetração das raízes (Inoue et al. 2002).

A escarificação apresenta como vantagens importantes sobre os demais sistemas de preparo do solo a manutenção de considerável proporção dos restos de culturas anteriores (até 75 %) sobre a superfície do solo, desagregar o solo segundo os seus planos de fratura naturais, demandar menos tempo e consumir menos combustível (Boller, 1996). A descompactação do solo utilizando implementos de hastes, como escarificadores, que produzem superfícies mais rugosas que os implementos de discos, como grades pesadas, tem por objetivo aumentar a porosidade, reduzir a densidade e, ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas (Kochhann; Denardin, 2000). Camara; Klein (2005) demonstraram que o plantio direto escarificado apresentou maior rugosidade, maior infiltração e menor densidade do solo que o plantio direto sem escarificação, após 12 meses da escarificação.

Em um trabalho avaliando vários modos de preparo, Bertol; Fischer (1997) observaram aumento no rendimento da soja quando o solo foi escarificado em relação ao plantio direto. Já para Ferreras et al. (2001), o rendimento de soja sob plantio direto foi 47,8% inferior ao plantio direto escarificado, provavelmente devido à compactação nesse sistema, reduzindo o desenvolvimento radicular em função do aumento da resistência mecânica que afeta a absorção de água e nutrientes. Camargo; Alleoni (1997) destacam que, em solos compactados, a baixa aeração induz a ramificação das raízes adventícias superficiais, tornando-as menos eficientes na absorção de água e nutrientes.

O uso do solo no plantio direto por um período de quatro anos após o revolvimento foi suficiente para o retorno dos atributos físicos do solo à condição original, uma vez que os mesmos não se diferenciaram dos tratamentos plantio direto de oito e doze anos (Marcolan; Anghinoni, 2006), mostrando que o revolvimento eventual proporciona modificações nos atributos físicos que são recuperáveis com o tempo.

Atualmente existem alguns pesquisadores que se posicionam a favor e outros contra o revolvimento em áreas sob plantio direto. Porém, cabe ressaltar que existem diferentes históricos de manejo da adubação, resíduos culturais, tráfego de máquinas e animais em áreas que hoje são conduzidas sob plantio direto e, portanto, diferentes situações são encontradas, o que leva a pensar que o revolvimento pode ser uma opção para a correção de problemas físicos e/ou químicos em profundidade, em certas situações. Porém, a função da pesquisa é identificar quais são essas situações que requerem a intervenção mecanizada, e que equipamentos podem ser usados.

2.7 Hipóteses

Mesmo quando a análise da camada de 0-10 cm não indica a necessidade de aplicação de calcário no plantio direto, há resposta da soja e do milho à calagem, quando ocorrer elevada acidez na camada de 10-20 cm. Nesse caso, a alternativa que vai propiciar maior resposta em produtividade será a incorporação de calcário com aração.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

Este trabalho foi constituído de um experimento conduzido em uma área pertencente ao agricultor Saulo Facco, no município de Tupanciretã, região fisiográfica Planalto Médio (BRASIL, 1973) do Rio Grande do Sul, com as seguintes coordenadas: 28°58'43,3"S e 53°38'26,4"W. O experimento foi conduzido sobre um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), de textura franco-arenosa, pertencente à Unidade de Mapeamento Cruz Alta, formação geológica de arenitos da formação Tupanciretã, Terciário (BRASIL, 1973). O solo apresenta 20% de argila, 72% de areia e 8% de silte. A precipitação ocorrida no período do ciclo das culturas (soja e milho) está contida nos apêndices (A e B). A tabela 1 representa os atributos químicos na condição inicial do experimento.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo nas diferentes camadas antes da implantação do experimento.

Atributo	Camadas, cm		
	0 – 10	10 – 20	0 – 20
Argila, g kg ⁻¹ ⁽¹⁾	19	22	19
M O, g kg ⁻¹ ⁽²⁾	19	12	17
pH – H ₂ O ⁽²⁾	5,5	5,1	5,4
Índice SMP ⁽²⁾	6,4	5,9	6,1
Saturação com alumínio, %	0	24	4
Saturação por bases, %	65	39	57
CTC efetiva, cmol _c dm ⁻³	5,4	4,1	5,3
CTC pH 7, cmol _c dm ⁻³	8,4	8	9
Al trocável, cmol _c dm ⁻³ ⁽³⁾	0	1	0,2
Mg trocável, cmol _c dm ⁻³ ⁽³⁾	2,4	1,5	2,2
Ca trocável, cmol _c dm ⁻³ ⁽³⁾	2,8	1,5	2,8
P disponível, mg dm ⁻³ ⁽⁴⁾	13,5	3	6,8
K trocável, mg dm ⁻³ ⁽⁴⁾	60	36	48

⁽¹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); ⁽²⁾ determinado segundo Tedesco et al. (1995); ⁽³⁾ extraído por KCl 1 mol l⁻¹ (Tedesco et al., 1995); ⁽⁴⁾ extraído por Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995).

A área foi escolhida de acordo com os atributos que se buscava na área, ou seja, na camada superficial (0-10 cm) não possuísse Al trocável, porém abaixo desta camada, houvesse a presença de Al trocável.

A área vinha sendo cultivada sob plantio direto há quatro anos, onde no verão se cultivava soja e no inverno pastagem (aveia + azevém) de forma intensiva, ou seja, com altas lotações de animais por área. A última aplicação de calcário ocorreu a aproximadamente quatro anos, sendo realizada sem incorporação ao solo. A caracterização da densidade do solo antes da implantação do experimento está apresentada na figura 1.

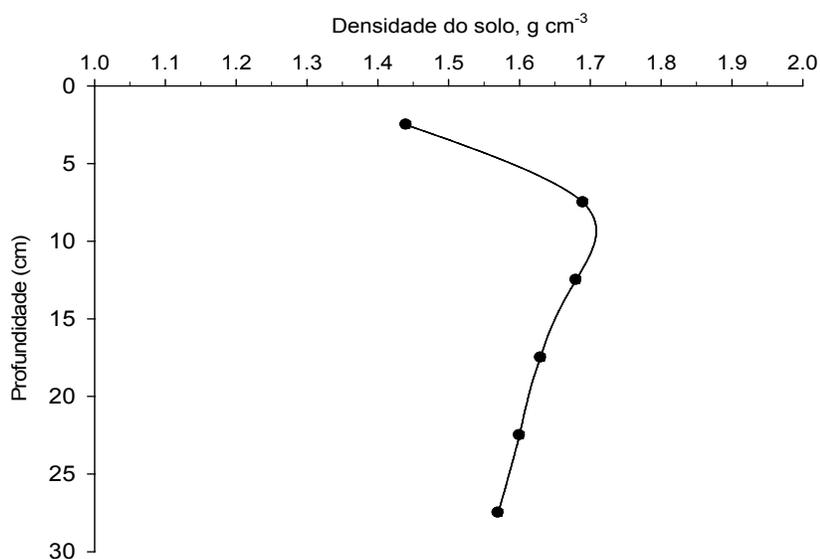


Figura 1 – Densidade do solo antes da implantação do experimento.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi implantado em área conduzida sob plantio direto, com os seguintes tratamentos: sem revolvimento e sem calcário; sem revolvimento e com calcário, 1 SMP - pH 6,0; lavração sem calcário; lavração com calcário, 1 SMP - pH 6,0; escarificação sem calcário; escarificação, com calcário, 1 SMP - pH 6,0; sendo a recomendação de calcário baseada na amostra de 0-20 cm. Além destes

tratamentos também foi feita à distribuição dos fertilizantes na linha de semeadura e a lanço em subsubparcela, cujos dados não são apresentados nesta dissertação pela falta de resposta na produtividade das culturas a estas formas de distribuição de fertilizantes na lavoura.

A implantação do experimento foi realizada no dia 27 julho de 2005. Nos tratamentos onde foi empregado calcário, a aplicação foi realizada manualmente na superfície do solo. A quantidade de calcário aplicada foi de 3,75 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT 72%. Esta quantidade foi baseada nas recomendações preconizadas pela CQFS-RS/SC (2004), considerando a amostra 0-20 cm para 1 SMP-pH 6,0. A escarificação foi realizada com um escarificador, com 9 hastes a uma profundidade de 0,32 m e distância entre hastes de aproximadamente 0,20 m. A lavração foi realizada com um arado de discos, a uma profundidade de 0,20 m. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições, com subparcelas de 8 x 10 m.

3.3 Implantação das culturas

A seqüência de cultivos após a implantação dos tratamentos foi a seguinte: aveia (*Avena strigosa* Schreb); soja (*Glycine max* (L.) Merr.); ressemeadura natural - aveia + azevém (*Lolium multiflorum* L.); milho (*Zea mays* L.); nabo (*Raphanus sativus* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.).

No primeiro cultivo após a introdução do experimento foi utilizada a aveia, semeada com semeadora de plantio direto com espaçamento de 0,17 m entre linhas, sendo que não se usou adubação nesta cultura. Para a implantação da soja, dessecou-se a aveia com Glyphosate (Roundup, 2L ha⁻¹), e no dia 22 de novembro de 2005, foi semeada a soja, utilizando-se a cultivar de ciclo precoce, transgênica “RR” (Roundup Ready), conhecida como 6001 (sem registro no MAPA, mas autorizado o plantio). A semeadura foi realizada com semeadora de plantio direto (Semeato PAR 3600), com disco de guilhotina, propiciando um revolvimento em torno de 10 cm de profundidade, e espaçamento de 0,4 m entre linhas. A adubação

utilizada foi de 178 kg ha⁻¹ do adubo 0-25-25 (0 N, 44,5 P₂O₅, 44,5 K₂O kg ha⁻¹) na linha e a lanço.

No segundo inverno, após o cultivo da soja, houve a ressemeadura natural de aveia e azevém e no final do mês de agosto de 2006 foi realizada a dessecação. No dia 07 de setembro foi semeada a cultura do milho, com espaçamento de 0,8 m entre linhas. Foi utilizado o híbrido simples P30F53, de ciclo precoce. A adubação utilizada foi de 340 kg ha⁻¹ do adubo 8-18-26 (27,2 kg ha⁻¹ de N, 61,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 88,4 kg ha⁻¹ de K₂O) na linha e a lanço e, aos 35 dias após a semeadura, foi aplicado em cobertura a lanço e sem incorporação 150 kg ha⁻¹ de uréia (69 kg ha⁻¹ de N).

Após a colheita do milho, dessecaram-se as plantas invasoras, e no dia 01 de março de 2007, foi implantado o nabo forrageiro, com semeadora, e espaçamento de 0,17 m entre linhas. No final de junho foi introduzida a cultura do trigo, sendo que a adubação utilizada foi de 240 kg ha⁻¹ do adubo 5-20-20 (12 kg ha⁻¹ de N, 48 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 48 kg ha⁻¹ de K₂O) a lanço.

Os tratamentos culturais referentes à aplicação de herbicidas, inseticidas e fungicidas durante o ciclo das culturas foram realizados pelo agricultor, conforme recomendações da assistência técnica responsável pela condução da lavoura, sendo realizada de forma homogênea na área experimental, a fim de não influenciar nos parâmetros a serem avaliados.

3.4 Avaliações realizadas

4.4.1 Produção de matéria seca e produtividade de grãos de soja e milho

Para a estimativa de matéria seca das culturas coletaram-se as plantas no pleno florescimento e após estas foram secas em estufa com ar forçado a 60°C, até massa constante. Após foi realizado a pesagem das amostras para a determinação da matéria seca, que para a soja foi coletado 1m linear na linha de semeadura e para o milho foram coletadas 5 plantas ao acaso dentro de cada parcela.

A estimativa da produtividade de grãos de soja foi realizada em uma área útil de 8m², e para o milho 16,96 m². As amostras de grãos foram debulhadas em máquina elétrica estacionária, pesadas, determinado umidade dos grãos e calculado a produtividade de soja com umidade de 13% e milho 14%. Todas as coletas para a determinação da produtividade, produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes foram feitas na subparcela onde foi realizado adubação na linha de semeadura.

3.4.2 Análise do tecido vegetal

Nas amostras coletadas para a determinação de matéria seca da parte aérea, realizou-se a determinação dos teores de Ca, Mg, P, K e N, com a finalidade de estimar a ciclagem de nutrientes em cada tratamento.

As amostras secas foram moídas em micro moinho e submetidas à digestão ácida com H₂SO₄ e H₂O₂, para posterior determinação dos elementos desejados (Tedesco et al. 1995).

O cálcio e o magnésio foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Para a determinação dos teores de nitrogênio foi realizada destilação com posterior titulação com H₂SO₄. O fósforo foi determinado por colorimetria e o potássio por fotometria de chama, conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

3.4.3 Análise de solo

As coletas de solo foram realizadas aos 9 (enchimento de grãos da soja) e 24 (perfilhamento do trigo) meses após a implantação do experimento. As camadas amostradas foram de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm, sendo coletadas nas subparcelas onde foi realizado adubação com distribuição a lanço. Preferiu-se a amostragem de solo na adubação a lanço para evitar variabilidades horizontais, mais comuns quando da distribuição na linha de semeadura. Estas amostras foram coletadas com pá de corte, abrindo-se uma trincheira, de cerca de 50 cm de largura,

retirando a camada correspondente. Para cada camada, dentro de cada subparcela, foram retiradas quatro subamostras homogeneizando em um balde, para posterior retirada de uma amostra média, que foi armazenada em saquinho plástico. Após, o solo foi seco em estufa com ar forçado, a 55°C, passado em peneira com malha de 2 mm e acondicionado em potes plásticos para posterior realização de análises.

No solo coletado foi determinado o pH em água (relação 1:1) e índice SMP; e cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos por KCl 1 mol l⁻¹, sendo os dois primeiros determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o terceiro por titulação com NaOH. Os teores de fósforo e potássio extraídos por Mehlich-1, sendo o primeiro determinado por colorimetria e o segundo por fotometria de chama. Os teores de carbono orgânico no solo foram realizados por oxidação com dicromato de potássio e determinação por titulação com sulfato ferroso amoniacal. As metodologias utilizadas estão descritas em Tedesco et al. (1995). Com estes dados foi calculado a soma de bases, a CTC efetiva, a estimativa do H+Al (através da equação proposta por Kaminski et al. 2002), a CTC a pH 7,0, para posterior estimativa da saturação por alumínio e por bases.

3.5 Distribuição do sistema radicular no perfil

A distribuição do sistema radicular foi realizada segundo o método proposto por Bohm (1979). Este método (Figura 2) propõe que primeiramente se faça a abertura de uma trincheira a 5 cm de uma planta escolhida ao acaso dentro da parcela, fazendo a exposição das raízes com um objeto pontiagudo. Após, com um quadro de 0,50 x 0,30 m para soja e 0,8 x 0,4 m para milho, com quadriculas de 0,05 x 0,05 m, se desenhe em uma folha quadriculada com menor escala, as raízes que foram expostas. Após os desenhos foram escaneados para melhor visualizar a distribuição do sistema radicular no perfil. Para a soja esta avaliação foi realizada no dia 19 de março de 2006, no período final do enchimento de grãos (R7), junto com a coleta de solo. Para o milho a avaliação do sistema radicular foi realizada no dia 08 de dezembro de 2006, no pendoamento (R2).



Figura 2 – Avaliação da distribuição do sistema radicular. a) abertura trincheira; b) exposição das raízes, colocação da quadrícula com malha de 0,05 x 0,05 m e desenho das raízes; c) folha com desenho pronto das raízes;

3.6 Análise Econômica

A análise econômica foi realizada apenas às culturas de soja e milho. Todos os valores de compra de insumos, venda de produtos agrícolas, custo das operações agrícolas foram levantados e calculados de acordo com os dados fornecidos pelo proprietário da área. Para o levantamento dos custos foram considerados os custos fixos e variáveis.

Os custos da calagem, lavração e escarificação foram divididos por 5 anos, pois foi considerado que o produtor adquiriu financiamento para realizar as operações, com juros de 12% ao ano e pagamento de parcelas anuais durante 5 anos. O custo total levantado corresponde ao custo anual de implantação de cada tratamento, mais o custo total de implantação das culturas (milho e soja). Informações adicionais estão nos apêndices C e D.

3.7 Análise estatística

O experimento era um bifatorial, onde na parcela principal se encontrava o fator modos de preparo (sem revolvimento, escarificação e lavração) e na subparcela o fator calagem (com e sem). Onde os resultados de análises químicas,

produção de matéria seca, ciclagem de nutrientes e produtividade de grãos e foram submetidos à análise da variância e, quando significativos, foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos avaliados (pH, Ca, Mg, Al, saturação por Al e saturação por bases) estão apresentados nas figuras 3 a 14, sendo que os teores de P, K e carbono nas figuras (15 a 17).

Aos 9 meses (Figura 3) observa-se que quando o calcário foi aplicado na superfície houve aumento do pH apenas na camada de 0-5 cm, enquanto que com a lavração o aumento ocorreu até 20 cm, sendo que apenas até 15 cm se observou pH próximo a 5,5, considerado como pH ideal para a maioria das culturas. A incorporação de calcário com escarificação propiciou aumento do pH principalmente nos primeiros 5 cm.

Após 24 meses se observa que a aplicação de calcário na superfície aumentou o pH nos primeiros 5 cm, embora na camada de 5-10 cm existe a tendência de aumento. A incorporação do calcário com lavração propiciou um aumento do pH nos primeiros 15 cm, em relação ao tratamento sem calcário. Já a escarificação mostrou um aumento principalmente até 10 cm de profundidade, indicando em relação aos 9 meses uma descida dos efeitos da calagem.

A lavração e a escarificação sem o uso de calcário aumentou a acidez em relação a onde não foi revolvido o solo, porém a lavração pela inversão de camadas com menor pH, apresentou os menores valores de pH na camada de 0-5 cm. Esse menor pH onde foi revolvido o solo se deve a maior superfície de contato para o ataque microbiano aos resíduos orgânicos, liberando maior quantidade de ácidos orgânicos para o meio, aumentando a acidez do solo (Sidiras; Pavan, 1985).

Aos 24 meses após a implantação do experimento os efeitos do calcário quando aplicado superficialmente e quando incorporado com escarificação parecem descer no perfil, elevando o pH, principalmente até 10 cm e se aproximam dos valores encontrados para a lavração.

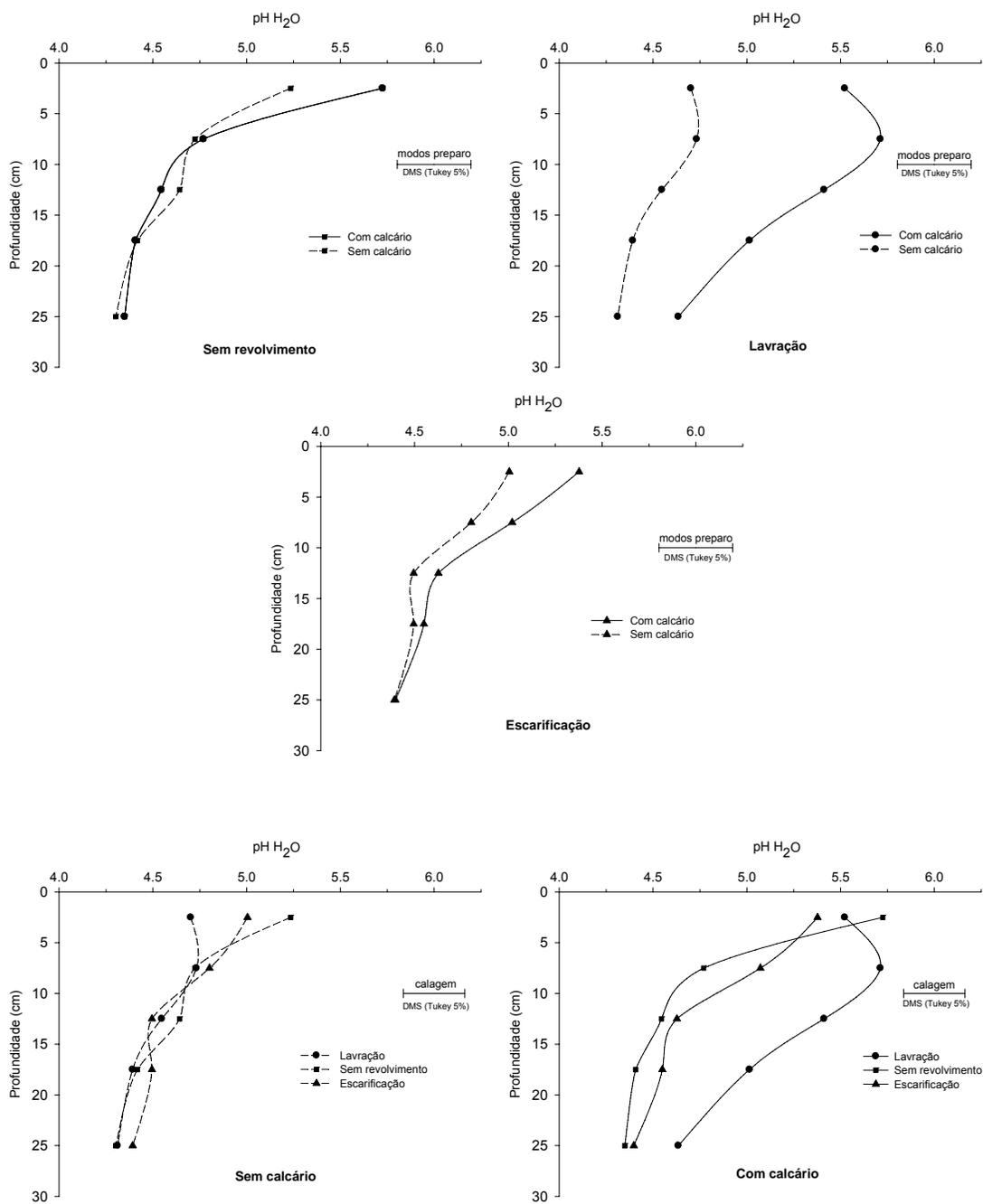


Figura 3 - pH em H₂O em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.

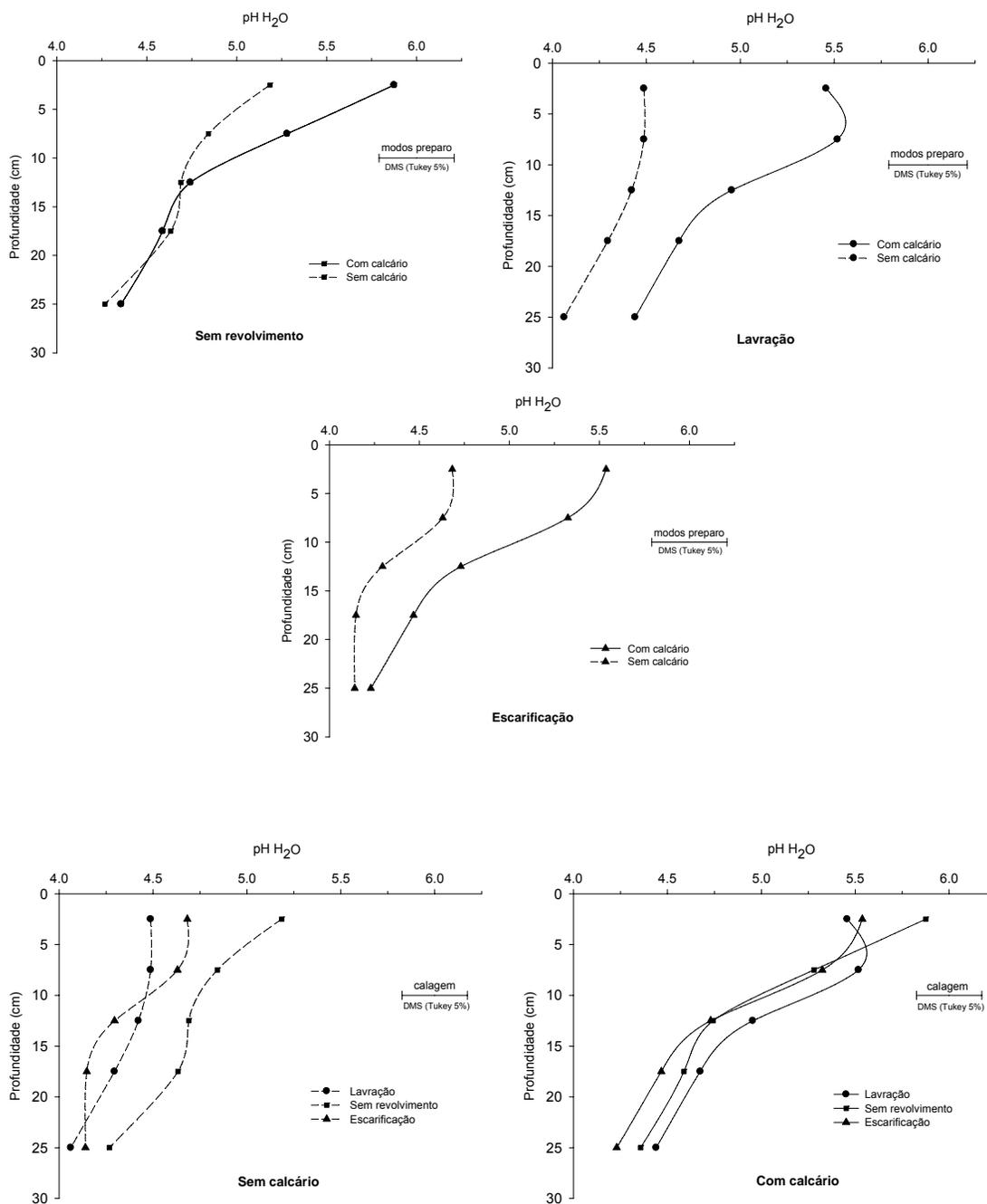


Figura 4 - pH em H₂O em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.

Com relação aos teores de cálcio e magnésio, conforme a CQFS-RS/SC (2004), os solos que apresentam os teores trocáveis maiores ou iguais a 2,0 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, são considerados teores satisfatórios. Considerando estes parâmetros para o cálcio (Figuras 6 e 7), para a camada 0-5 cm todos os

tratamentos apresentaram valores superiores a $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, exceto onde foi realizado a lavração sem calcário. Porém abaixo desta camada apenas para a incorporação de calcário com lavração e com escarificação estes teores foram superiores ao valor preconizado. Já para o magnésio (Figuras 7 e 8) se observa que este apresentou valores acima do preconizado em todas as camadas, tanto aos 9 quanto aos 24 meses.

Os teores de cálcio e magnésio no solo aos 9 e 24 meses mostram que onde foi aplicado calcário e sem revolvimento do solo houve aumento nos teores apenas nos primeiros 5 cm. Este acúmulo de nutrientes na camada mais superficial é decorrente da menor dissolução do calcário devido ao elevado pH nos primeiros centímetros, retardando o efeito na subsuperfície (Rheinheimer et al. 2000). Além disso, a dissociação do hidrogênio desenvolve uma carga negativa na superfície das partículas (carga pH-dependente) capaz de adsorver eletrostaticamente um cátion, gerando maior capacidade de troca de cátions (CTC) ao solo (Volkweiss, 1989), aumentando a adsorção destes cátions. A mineralização dos nutrientes dos resíduos vegetais depositados sobre o solo também propicia o acúmulo dos mesmos na camada superficial. Já quando o calcário foi incorporado por lavração e escarificação houve a tendência de maiores teores de Ca e Mg até a camada de 15-20 cm em relação ao revolvimento sem calcário.

Os teores de Al trocável estão correlacionados com o pH do solo, sendo que abaixo do pH 5,5 geralmente é encontrado Al trocável no solo, por isso existe a recomendação para a manutenção de pH superior a 5,5 (CQFS–RS/SC, 2004). Aos 9 meses (Figura 9), no tratamento sem revolvimento, os teores de Al trocável não diferiram, para todas as camadas. Isto ocorreu porque na camada de 0-5 cm o pH do onde não foi aplicado calcário era próximo de 5,5, e portanto, os teores de Al eram próximos a zero, e isto mostra que os efeitos da calagem superficial se restringiram justamente a esta camada.

A incorporação do calcário com lavração, mostrou a tendência, tanto aos 9 quanto aos 24 meses, (Figuras 9 e 10) de redução dos teores de Al em todas as camadas, porém nos primeiros 15 cm esses efeitos são mais evidentes. A incorporação do calcário com escarificação, aos 24 meses, reduziu os teores de Al principalmente nos primeiros 10 cm.

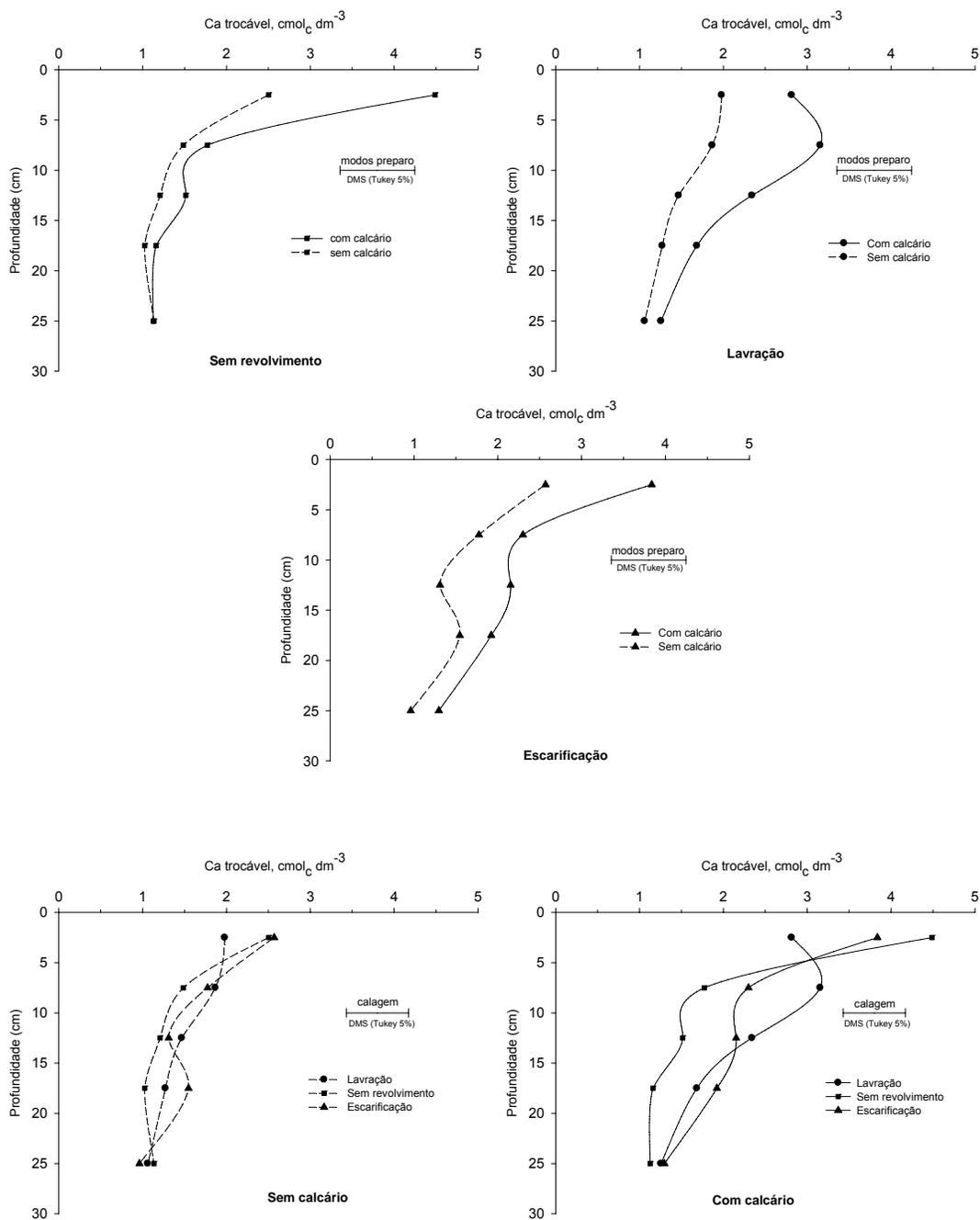


Figura 5 – Cálcio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.

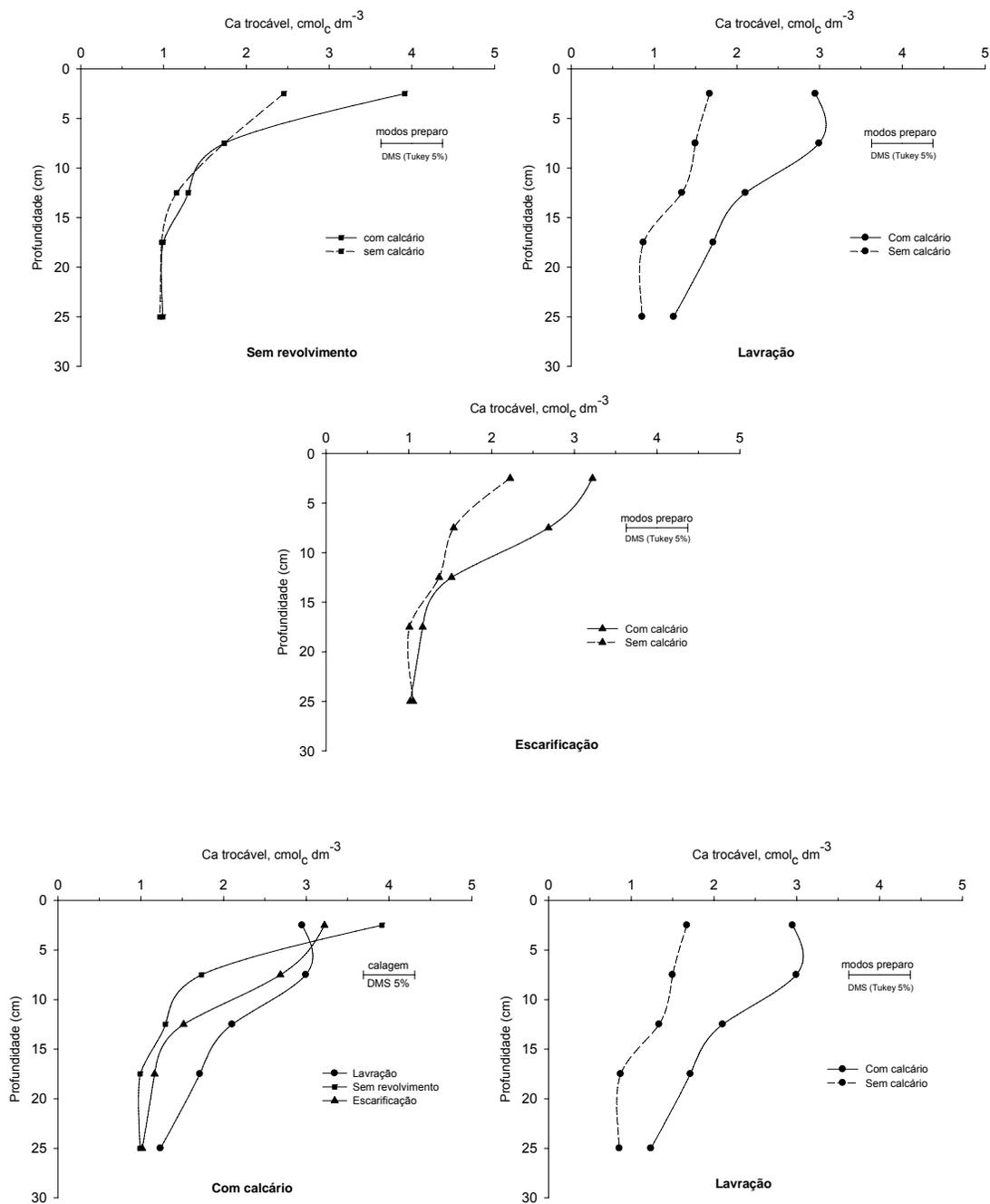


Figura 6 – Cálcio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.

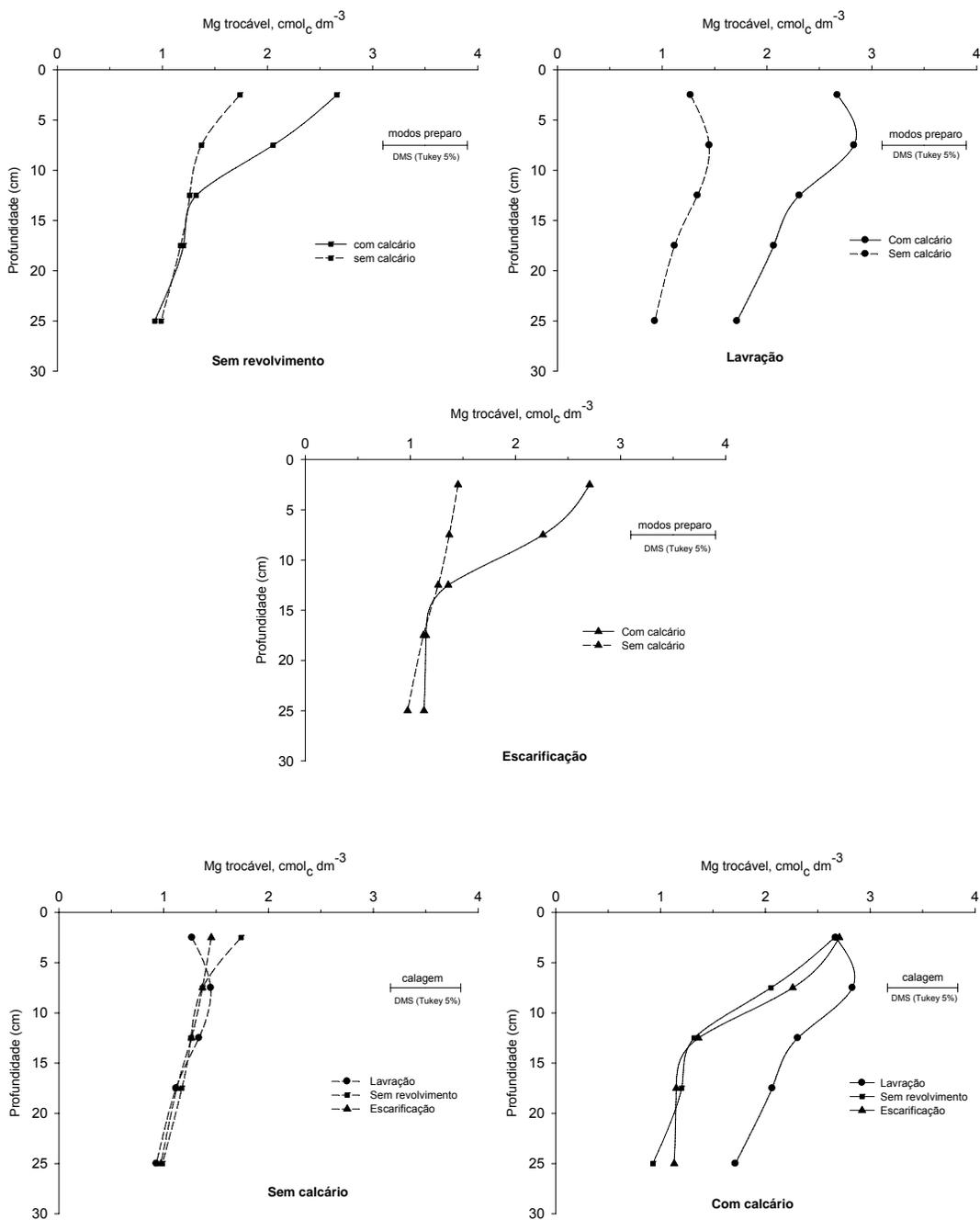


Figura 7 – Magnésio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.

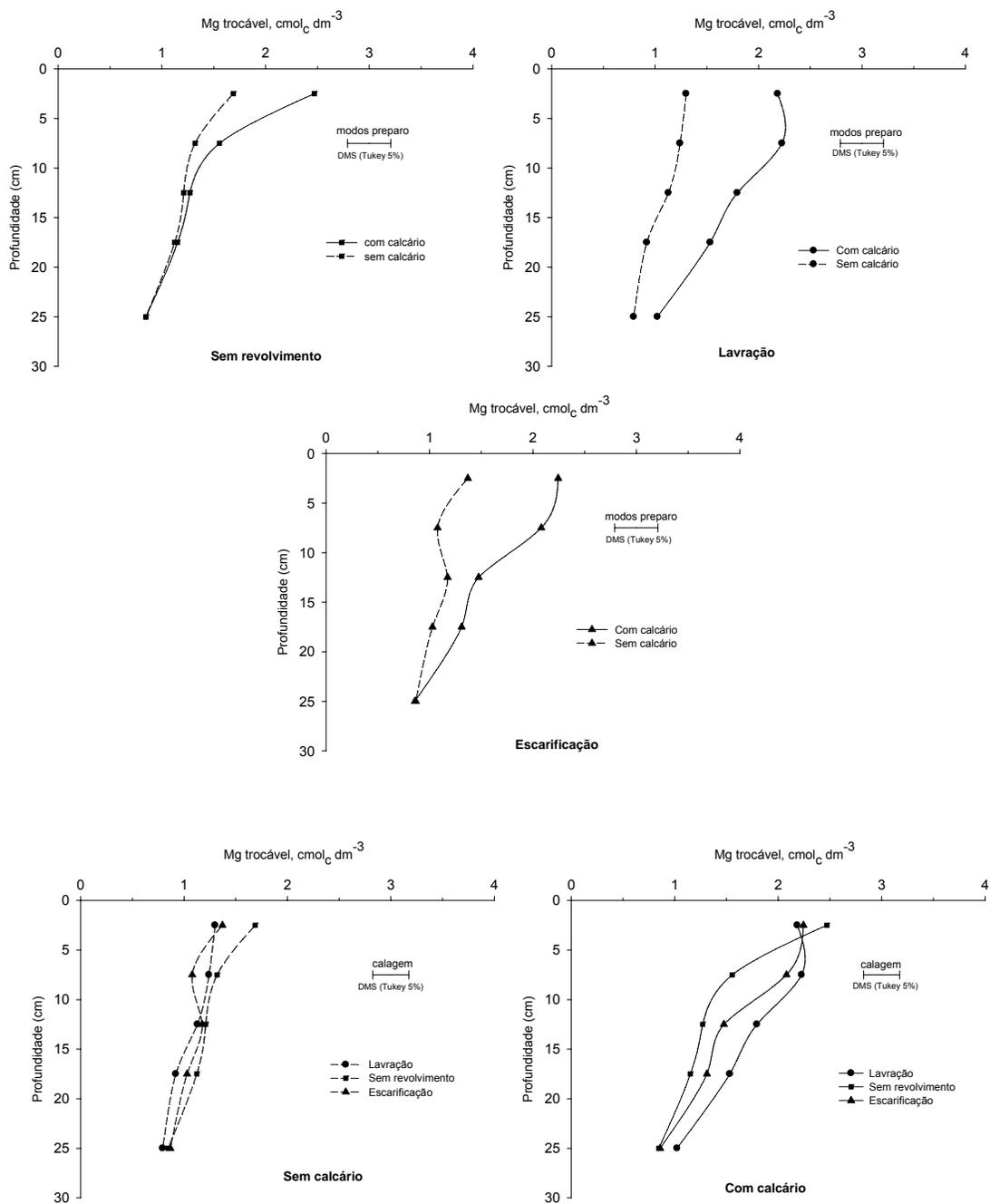


Figura 8 – Magnésio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.

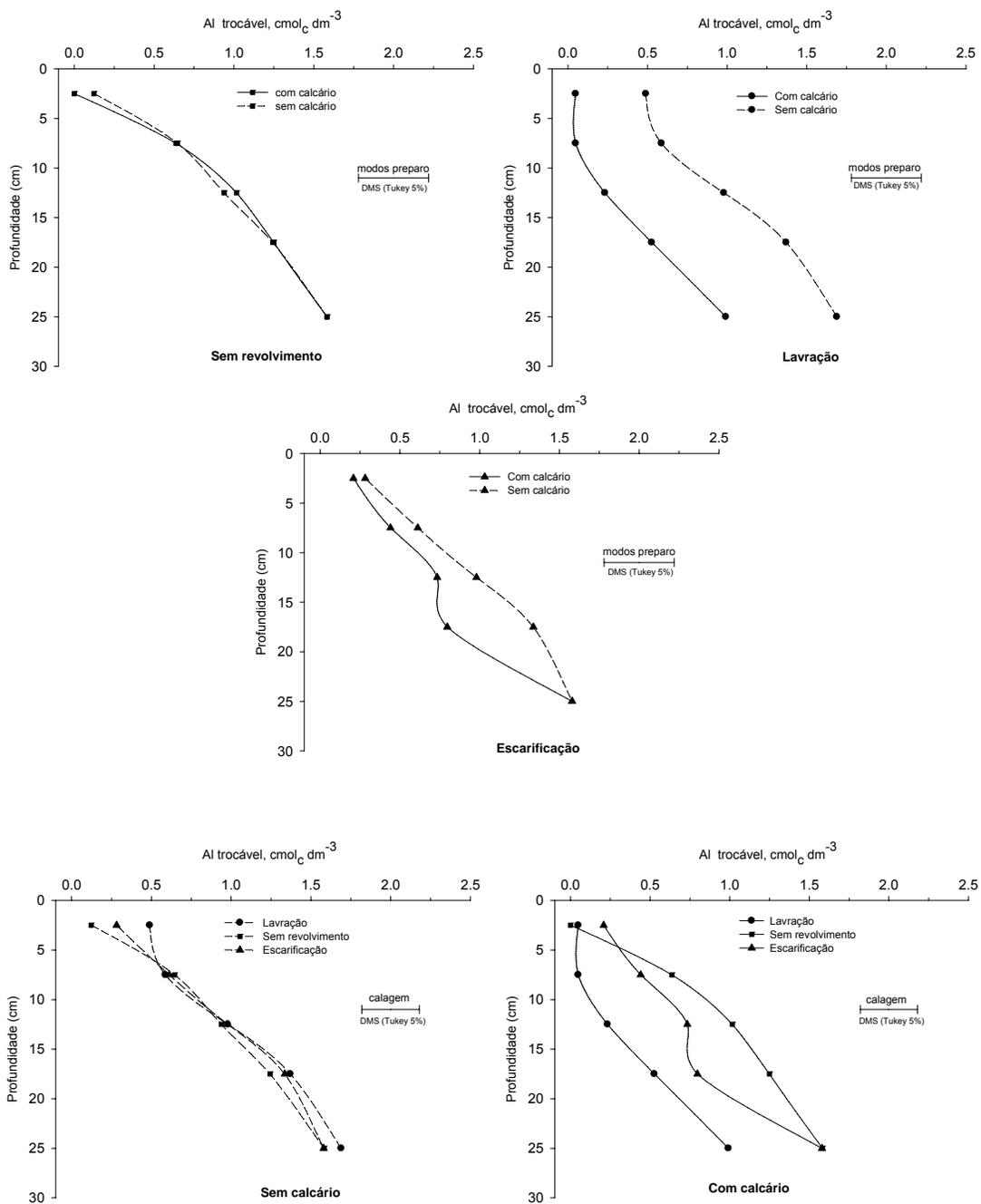


Figura 9 – Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.

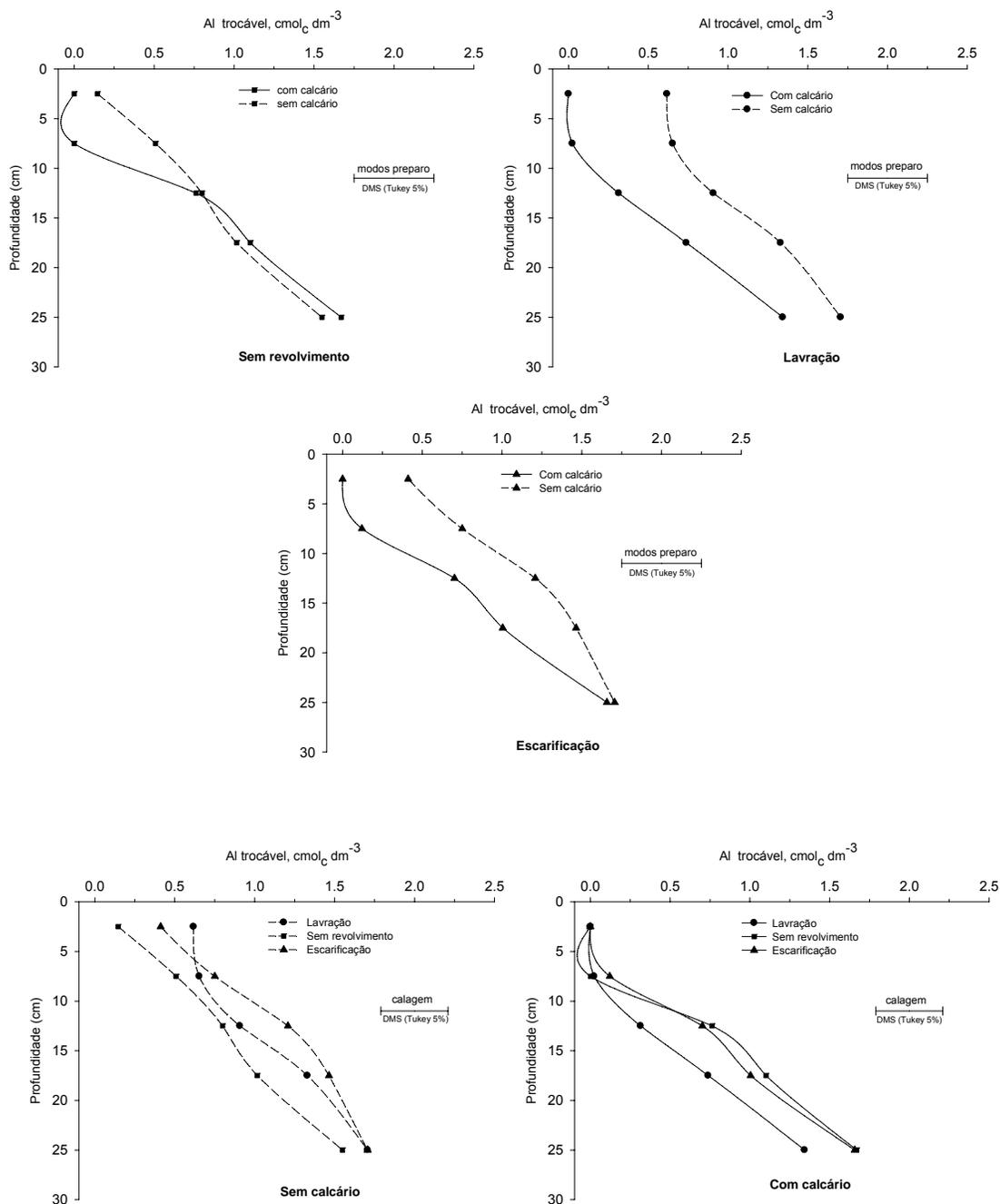


Figura 10 – Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.

Para a CQFS-RS/SC (2004) quando apenas um dos critérios for atendido ($\text{pH} \leq 5,5$ ou $V\% \leq 65\%$), a saturação por Al acima 10% é usada como critério de decisão

juntamente com os teores de fósforo na decisão de aplicar ou não calcário. Sendo que saturações por alumínio abaixo de 10% são consideradas valores baixos, e, portanto, com menor restrição ao desenvolvimento das culturas.

Neste estudo, para os 9 (Figura 11) e 24 meses (Figura 12), apenas a lavração conseguiu manter níveis abaixo destes valores além dos 10 cm. Para a escarificação tanto aos 9 quanto aos 24 meses, se observou valores inferiores a 10% até 10 cm. Já para a calagem superficial, apenas aos 24 meses, a saturação com Al se encontrou abaixo dos 10% até os 10 cm. Quando se realizou a lavração sem calcário a saturação por Al atingiu valores superiores a 10% já nos primeiros 5 cm, tanto aos 9 quanto aos 24 meses, devido à inversão das camadas mais profundas, com elevada saturação por Al.

Para a saturação por bases da CTC a pH 7,0 (Figuras 13 e 14), os valores preconizados como ideal pela CQFS-RS/SC (2004) seriam acima de 65%. Para a camada de 5-10 cm apenas onde foi lavrado para incorporar calcário, ocorreu a elevação para estes teores, aos 9 meses. Aos 24 meses se observa que tanto a lavração quanto a escarificação conseguiram atingir esta saturação por bases, até os 10 cm. Para as camadas de 10-15 e 15-20 cm a incorporação com lavração manteve a saturação por bases, a 63 e 51% aos 9 meses e 52 e 40% aos 24 meses, respectivamente. Já para a escarificação, foram encontrados, 45 e 44% e 39 e 31% respectivamente, e para a calagem superficial, 39 e 33% e 30 e 27% mostrando que houve uma redução da saturação de bases em profundidade com o passar do tempo, e a lavração foi o modo de incorporação que conseguiu elevar para os maiores valores a saturação por bases, nestas camadas.

Um fator muito importante a se ressaltar é que toda operação realizada no solo promove alterações, porém estas não ocorrem de forma homogênea tanto verticalmente como horizontalmente. Por isso às vezes as repetições podem apresentar variações consideráveis o que leva, em muitos casos a não apresentar diferenças estatísticas, embora se observe a tendência de aumento ou diminuição nos teores.

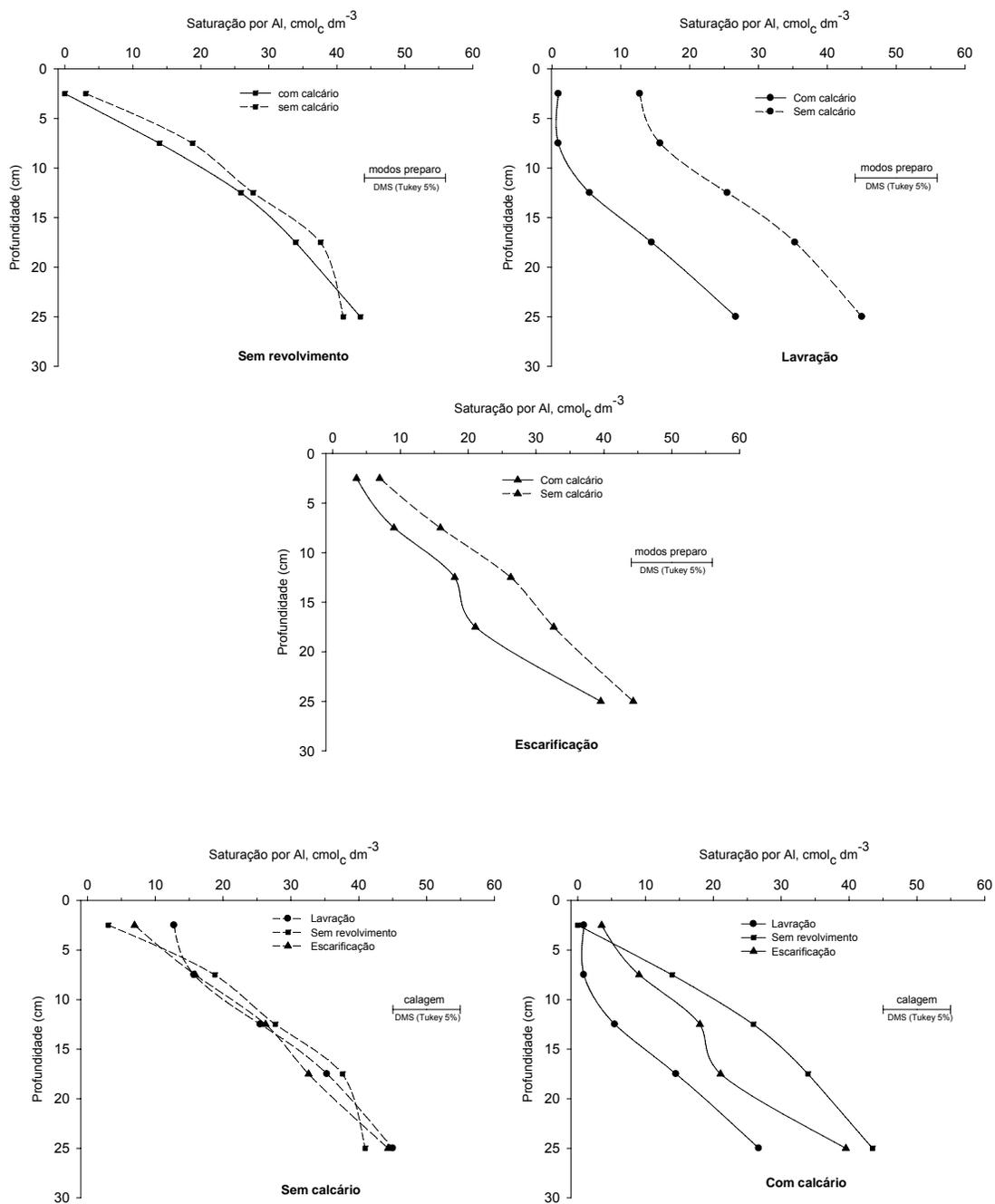


Figura 11 – Saturação com alumínio em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.

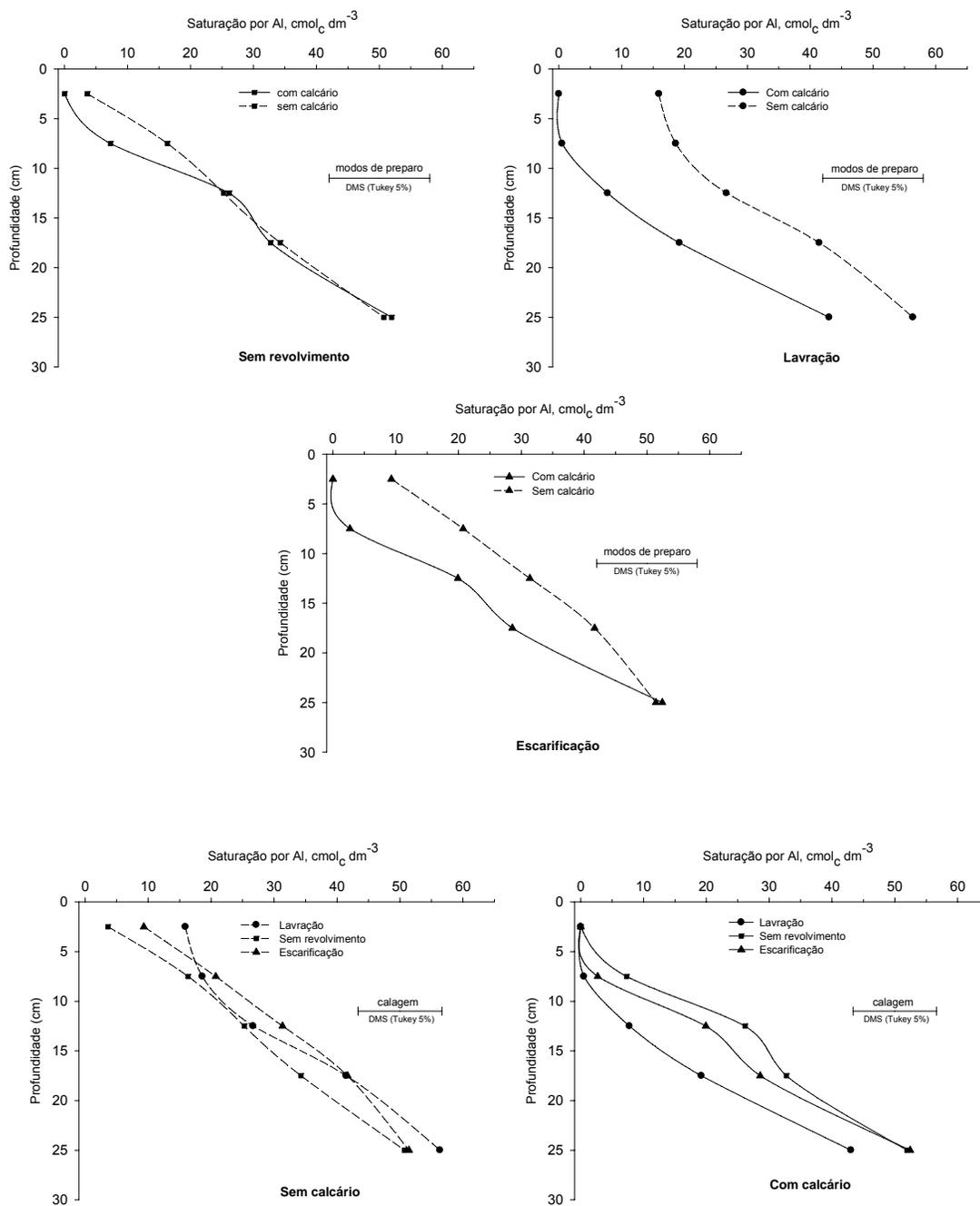


Figura 12 – Saturação com alumínio em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.

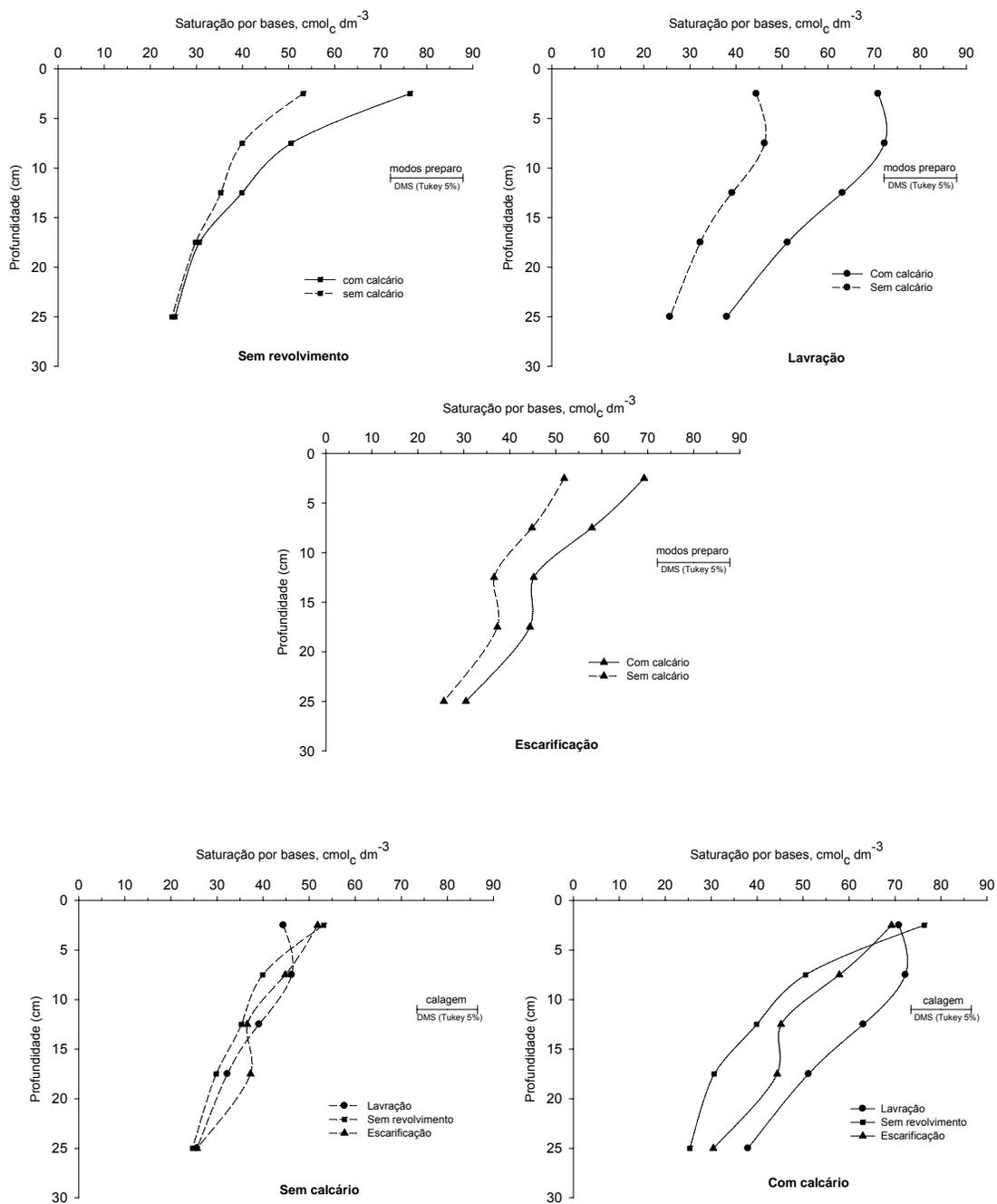


Figura 13 – Saturação por bases em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 meses após a implantação do experimento.

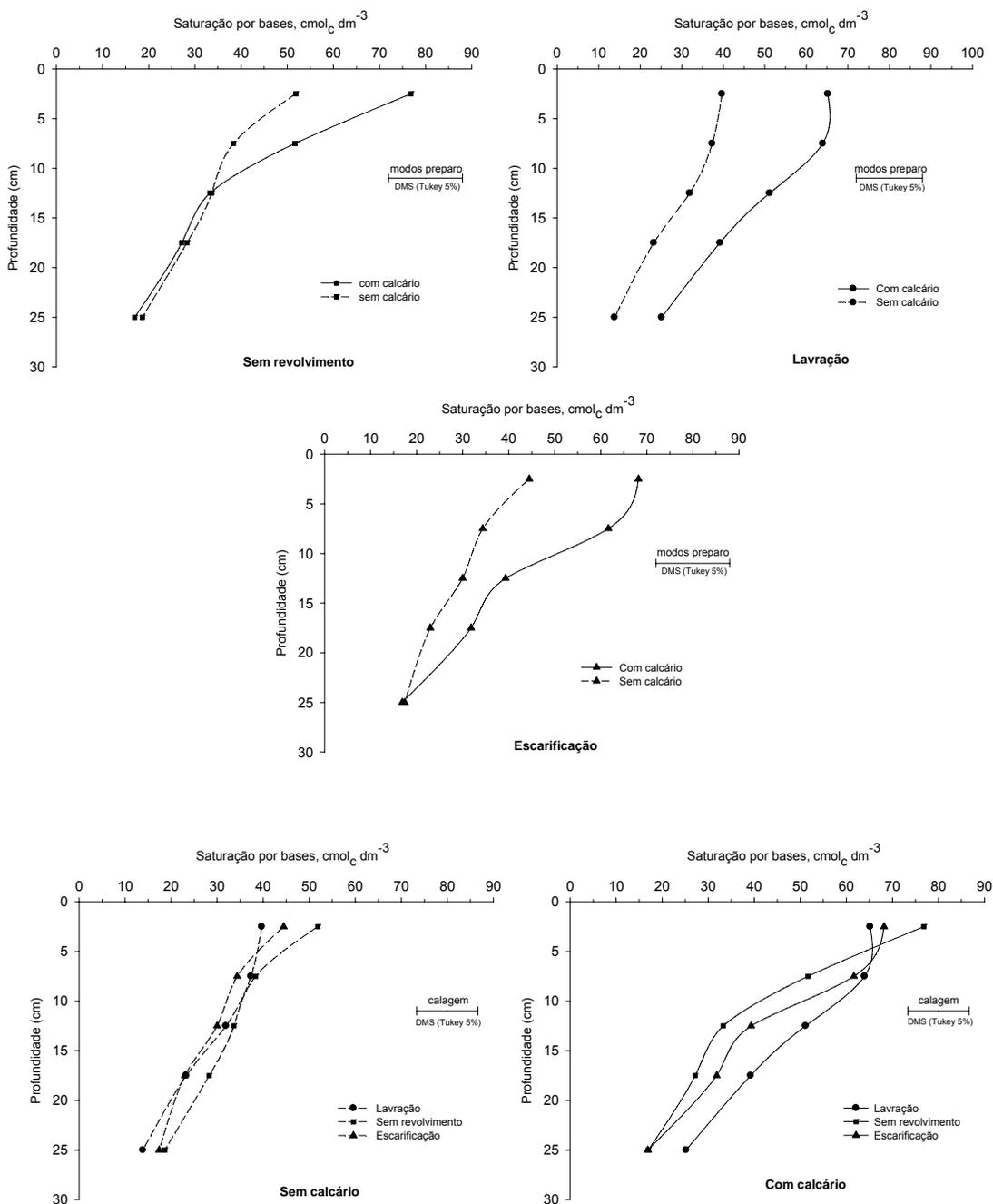


Figura 14 – Saturação por bases em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 24 meses após a implantação do experimento.

De maneira geral, observa-se que os efeitos dos diferentes tratamentos, no pH, teores de Ca e Mg, Al, saturação por Al e por bases, estão correlacionados. Os

dados de calagem superficial concordam com a maioria dos trabalhos, mostrando, após diferentes períodos de avaliação, que os efeitos do calcário quando aplicado em superfície restringe-se a poucos centímetros da superfície (Cassol, 1995; Pöttker; Ben, 1998; Rheinheimer et al. 2000; Moreira et al. 2001; Amaral; Anghinoni, 2001; Caires et al. 2006; Holzschuh, 2007). Conforme Haynes e Mokolobate (2001) a descida no perfil, dos efeitos da calagem quando aplicada superficialmente é dependente principalmente da dose de corretivo aplicada, do tempo de avaliação, do regime hídrico, granulometria do calcário e dos próprios atributos do solo, principalmente os teores de colóides e a macroporosidade, e secundariamente à presença de ânions inorgânicos, como sulfatos, nitratos, cloretos e silicatos e ânions orgânicos.

Neste caso, quando aplicado calcário na superfície por ser um solo com textura franco-arenosa, as condições para a descida do calcário são favorecidas, porém os efeitos se restringiram à camada de 0-5 cm, o que pode ter sido influenciado, além da baixa solubilidade do calcário, ao fato da maior densidade do solo na camada de 5-10 cm (Figura 1).

A lavração se mostrou o melhor método para a correção da acidez em profundidade. Sá (1999), após quatro anos da incorporação de calcário, observou que o uso de arado de discos e de aivecas propiciaram as melhores incorporações de calcário em profundidade até cerca de 30 cm. Já Neto et al. (2000), encontraram efeito da calagem quando incorporado por lavração e duas gradagens até 15 cm de profundidade, concordando com os dados encontrados neste estudo. Portanto, pode-se verificar que a lavração sem o uso de gradagens posteriores, pode ser uma forma eficiente de incorporação de calcário. Porém, alguns pontos são apontados como desfavoráveis ao revolvimento com lavração, como o elevado custo operacional e maiores riscos de erosão, visto que ocorre a incorporação dos restos culturais que auxiliam na proteção do solo ao impacto das gotas da chuva, além de favorecer a decomposição tanto dos resíduos quanto da matéria orgânica, aumentando, portanto, a probabilidade de ocorrer a desestruturação e perda de solo e nutrientes.

A prática da lavração para resolver possíveis impedimentos físicos por outro lado, deve ser vista com restrições, pois expõe a camada com menor quantidade de nutrientes e com maior acidez na superfície do solo, propiciando um ambiente menos favorável ao desenvolvimento inicial das culturas.

A escarificação como modo de incorporação de calcário promoveu a correção da acidez principalmente nos primeiros 10 cm, porém para a maioria dos atributos da acidez houve tendência de melhoria abaixo dos 10 cm de profundidade quando comparado aos tratamentos sem aplicação de calcário. Para este modo de incorporação de calcário devem-se considerar as possíveis variações horizontais provocadas pelo uso desta prática, e a dificuldade de se amostrar de forma adequada para evitar essas variações.

Para Neto et al. (2000), quando o calcário foi incorporado com escarificador e duas passadas com grade niveladora os efeitos da calagem se restringiram a 10 cm de profundidade, três meses após a calagem. Sá (1999) também verificou que a incorporação com escarificação atuou até 10 cm, no primeiro ano após a calagem. Já a partir do segundo ano este autor não evidenciou diferenças entre a aplicação de calcário na superfície e incorporado com escarificação.

Porém, com a escarificação não ocorre a inversão de camadas na mesma intensidade que a lavração, porém é citado que ocorre o aumento da infiltração de água e redução da densidade do solo (Câmara; Klein, 2005), o que pode favorecer as condições para a descida de partículas finas de calcário, e dos produtos da dissolução do calcário, sendo que os efeitos em profundidade podem ser mais rápidos, quando comparado a aplicação de calcário superficial é e em condições de solo compactado.

O objetivo da calagem era de elevar o pH a 6,0, porém os resultados mostram que a quantidade de calcário recomendada, neste caso, pelo método utilizado no RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004) não foi suficiente. Entretanto, isto pode ter acontecido porque nas recomendações para o RS e SC é ressaltado que, para solos pouco tamponados, o índice SMP pode subestimar a quantidade de calcário a aplicar. Também como hipótese para não ter se atingido o valor de pH que era pretendido atingir, pode-se citar que o PRNT do calcário utilizado para o cálculo da dose aplicar foi fornecido pela indústria, o que causar diferenças em função do estado de umidade do material e variabilidade no lote produzido.

Para os teores de fósforo e potássio não se observou tendência clara na disponibilidade destes nutrientes, quando submetidos a modos de preparo e calagem. Considerando-se as classes de disponibilidade para fósforo e potássio sugeridas pela CQFS – RS/RS, (2004), se observa que para fósforo e potássio aos 9 meses (Figuras 15A e 16A), considerando a média das camadas 0-5 e 5 -10 cm, a

maioria dos tratamentos se encontram próximo ao limite superior da classe de disponibilidade médio e no terço inferior da classe alto, respectivamente. Por sua vez, aos 24 meses (Figuras 15B e 16B), os teores de fósforo se enquadraram no terço superior da classe alto, e para potássio no terço médio da classe alto. Pelos dados se observa que houve uma elevação, tanto nos teores de fósforo como de potássio, da condição inicial (Tabela 1), para os 9 meses (Figuras 15A e 16A) e para os 24 meses (Figuras 15B e 16B).

Apesar de neste estudo não haver uma tendência muito clara de distribuição no perfil de nutrientes pelo revolvimento, geralmente em sistemas de cultivo envolvendo preparos com mobilização mais intensa do solo proporcionam uma distribuição mais uniforme de nutrientes, principalmente na camada arável (Eltz et al, 1989). Um dos fatores que pode ter contribuído para esta situação é que, a partir da introdução dos tratamentos com revolvimento, estes foram mantidos sob plantio direto, sendo que a adubação para a soja e o milho foi realizada posteriormente ao revolvimento do solo. Aliado a este fato, a retirada de fósforo e potássio de camadas mais profundas pelas raízes, e a deposição dos resíduos culturais na superfície do solo, favoreceram a maior concentração destes nutrientes na superfície do solo.

A grande concentração de fósforo e potássio ocorreu na camada de 0-5 cm, sendo que aos 24 meses houve um aumento nos teores de fósforo e potássio, o que pode ser atribuído à adubação a lanço na cultura do trigo (30 dias antes da coleta).

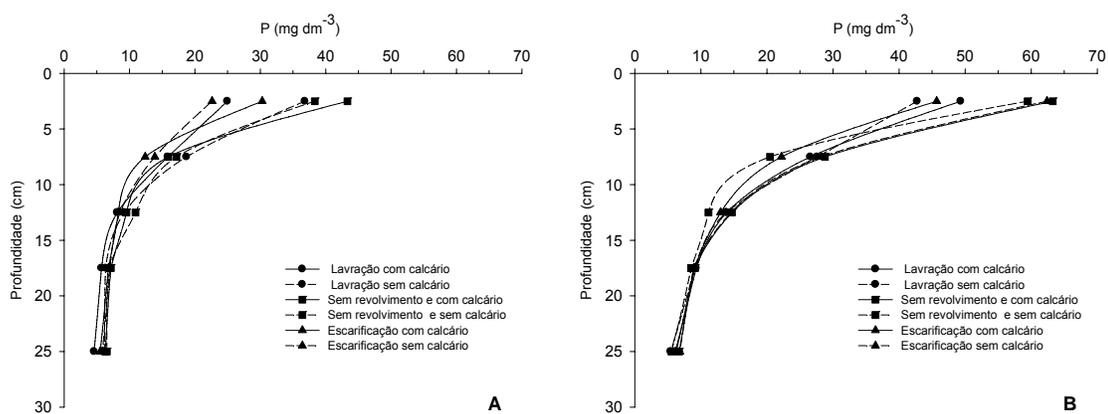


Figura 15 – Fósforo disponível em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 (A) e 24(B) meses após a implantação do experimento.

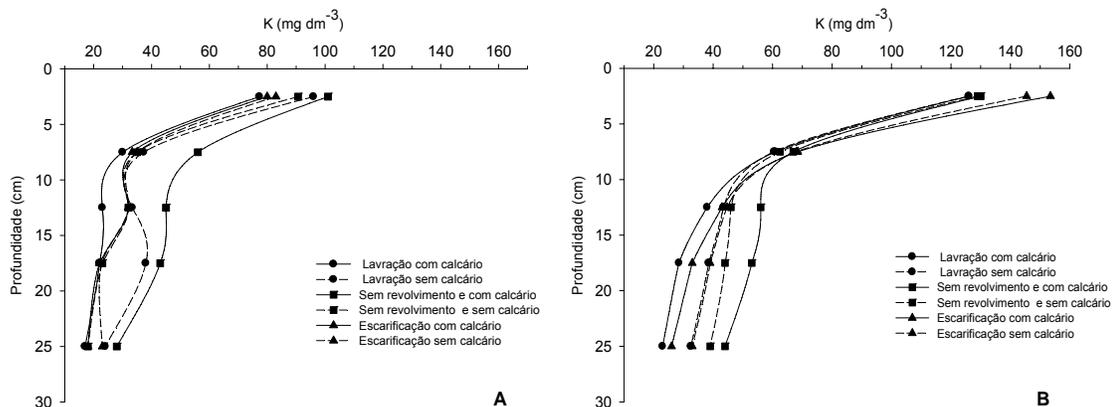


Figura 16 – Potássio trocável em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 (A) e 24(B) meses após a implantação do experimento.

Os teores de carbono orgânico aos 9 meses (Figura 17A) após a introdução do experimento, mostram que o revolvimento do solo propicia uma incorporação de carbono, na camada de 5-10 cm, sendo que a lavração propiciou os maiores aumentos nesta camada. A escarificação manteve teores intermediários entre o plantio direto e a lavração, visto que é uma operação que não inverte as camadas de solo, como a lavração, porém, fica evidenciado que é capaz de incorporar resíduos orgânicos. Por sua vez, onde não foi revolvido o solo, foram encontrados os maiores teores de carbono orgânico, na camada superficial. Este comportamento concorda com Bayer; Mielniczuk (1997) em que, em geral, no plantio direto ocorre o acúmulo de MO na camada superficial em relação às camadas subsuperficiais.

Aos 24 meses (Figura 17B) os teores de carbono ficaram muito próximos para todas as camadas. Ciotta et al. (2004) em um Latossolo Bruno aluminico, argiloso, após 4 anos da incorporação do calcário com lavração e duas gradagens não verificou diferenças nos teores de COT deste tratamento em relação a calagem superficial. Estes autores atribuíram à alta estabilidade coloidal da matéria orgânica em solos argilosos e com altos teores de óxidos de ferro e alumínio, além da localização da matéria orgânica no interior de microagregados resistentes ao manejo do solo e isso tudo conferiria alta proteção física ao ataque de microorganismos e de suas enzimas.

A aplicação de calcário não afetou os teores de carbono, nos diferentes modos de preparo, e abaixo dos 10 cm não ocorreu diferença entre os tratamentos, tanto aos 9 quanto aos 24 meses.

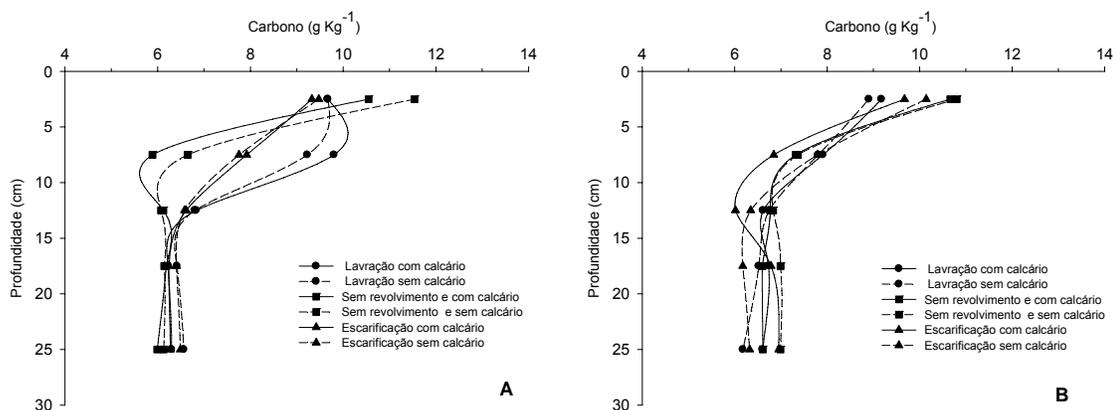


Figura 17 - Carbono orgânico em um Latossolo Vermelho, submetido a modos de preparo e calagem aos 9 (A) e 24 (B) meses após a implantação do experimento.

4.2 Distribuição do sistema radicular

Nas figuras 18 e 19, estão apresentadas a distribuição do sistema radicular até 30 e 40 cm de profundidade para a soja e o milho, respectivamente.

Para a soja, durante o ciclo da cultura houve um déficit hídrico, principalmente nos meses de fevereiro e início de março (Apêndice A). De maneira geral, a análise visual da figura 18 indica que nos tratamentos onde foi escarificado o solo houve a melhor distribuição e camadas mais profundas foram exploradas pelas raízes, sendo que foi encontrada uma maior presença abaixo dos 20 cm de profundidade. Nos tratamentos com lavração as raízes se limitaram à camada revolvida (20 cm) sem diferenças evidentes entre onde foi aplicado calcáριο e sem calcáριο. Para os tratamentos sem revolvimento se observa que as raízes se limitaram à camada mais superficial, sendo que a observação da raiz principal indica que esta se limitou às camadas mais superficiais que os demais modos de preparo. Mello Ivo; Mielniczuk (1999) também verificaram maior quantidade de raízes na camada superficial no plantio direto do que no preparo convencional de solo. Rosolem et al. (1992) também verificaram para o trigo que a escarificação e a lavração foram os

tratamentos que proporcionaram distribuição mais uniforme no perfil, sendo que o plantio direto e a gradagem pesada apresentaram uma concentração do sistema radicular na superfície do solo. Porém, cabe ressaltar que o revolvimento esporádico do solo não representa à mesma situação que o sistema convencional, mas no presente estudo pode-se observar a ocorrência de maior concentração de raízes na superfície do solo quando não se revolveu o solo.

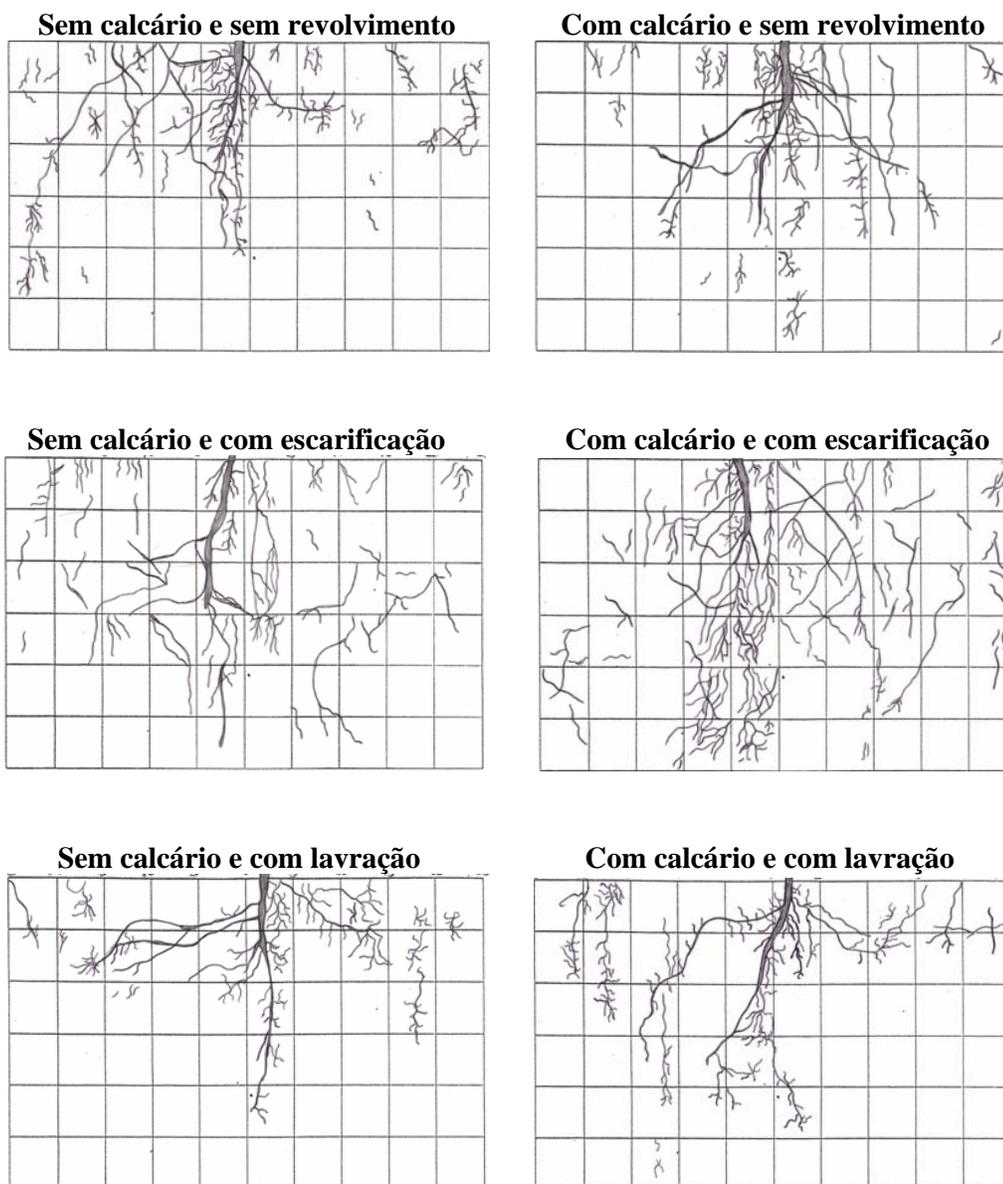


Figura 18 - Distribuição do sistema radicular da soja, no período de enchimento de grãos, em um Latossolo Vermelho submetido a modos de preparo e calagem. Malha de 0,05 m x 0,05 m. Avaliação realizada aos 9 meses após a implantação do experimento.

Apesar da escarificação não ser o modo mais eficiente em incorporar calcário (Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10) se evidencia, para as condições avaliadas, que pode ser um bom método para propiciar um ambiente mais favorável para o crescimento do sistema radicular das culturas. Sabe-se também que as raízes não necessitam de todo o volume de solo esteja em perfeitas condições para o seu desenvolvimento e busca de água em profundidade, visto que cada planta tem seu mecanismo capaz de perceber quais são os melhores locais para aprofundar o seu sistema radicular, sendo que a representação tanto química como física às vezes pode não representar a real condição que a planta enfrenta (Gassen; Kochhann, 1998).

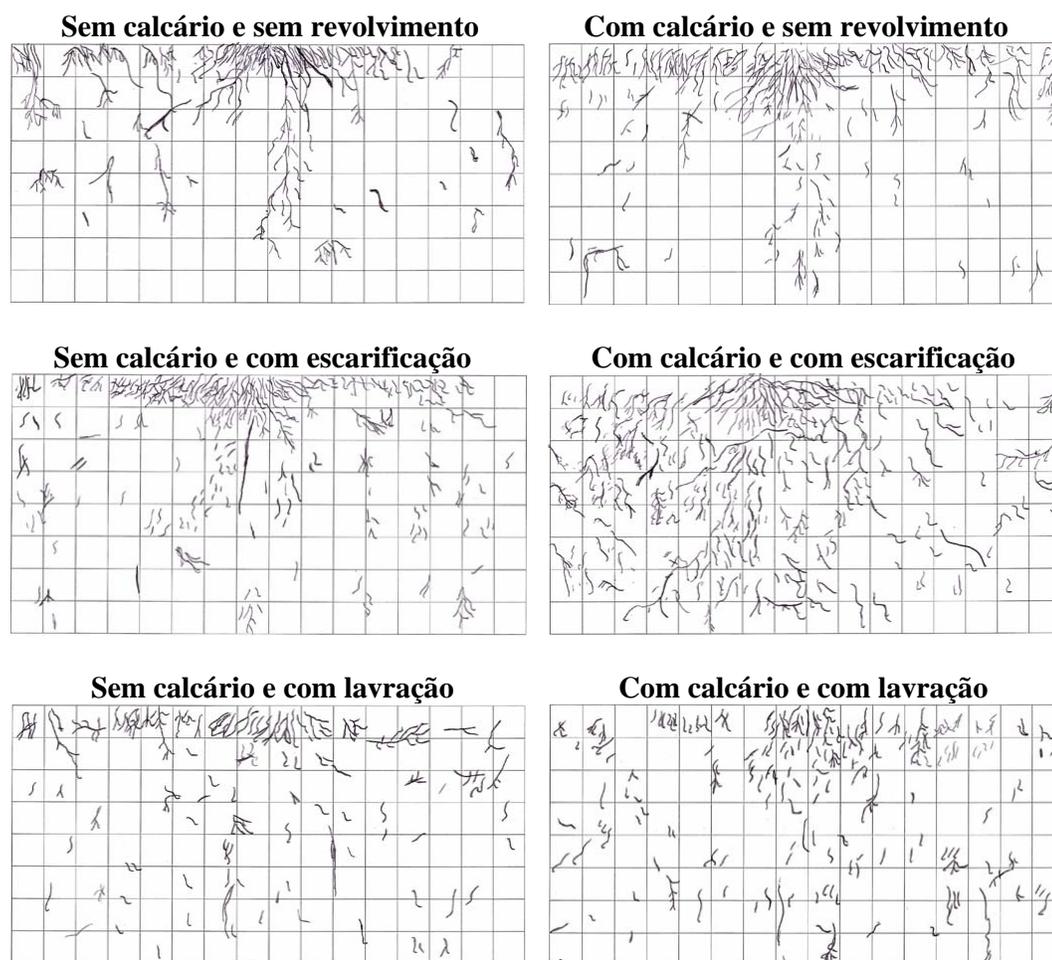


Figura 19 - Distribuição do sistema radicular do milho, no período de plena floração, em um Latossolo Vermelho submetido a modos de preparo e calagem. Malha de 0,05 m x 0,05 m. Avaliação realizada aos 17 meses após a implantação do experimento.

Para o milho, não se observou um déficit hídrico tão intenso quanto para a soja (Apêndice B). A distribuição do sistema radicular (Figura 19) abaixo dos 10 cm, parece ter sido melhor novamente onde foi escarificado, bem como onde foi lavrado. O não revolvimento do solo propiciou condições para a concentração das raízes na superfície do solo, devido à concentração de nutrientes na superfície e a presença de possíveis impedimentos químicos e físicos em profundidade. Rosolem et al. (1994), verificaram que a compactação em subsuperfície propiciou a concentração de raízes na superfície do solo, e que a incorporação de calcário com elevação da saturação por bases até 75% aumentou o crescimento radicular para a cultura do milho, em um experimento de casa de vegetação.

Embora possa se argumentar que a correção apenas da camada de 0-10 cm é suficiente para a produção satisfatória das culturas, sabe-se que as plantas podem explorar profundidades bem maiores, desde que não tenham impedimentos, o que pode ser muito importante em períodos de déficit hídrico e até na absorção de nutrientes, especialmente aqueles com elevada mobilidade no solo, como o nitrato e o sulfato.

4.3 Produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes

Neste tópico serão discutidas a produção de matéria seca (Tabela 2) e a ciclagem de nutrientes (Tabela 3) nas culturas da soja e milho. Os fatores de solo envolvidos na absorção de nutrientes, dizem respeito a disponibilidade de nutrientes e as condições físicas que permitam o crescimento radicular. O primeiro está relacionado à forma e quantidade com que os nutrientes se encontram no solo e com as taxas com que são liberados para a solução do solo. O segundo diz respeito à estrutura e porosidade do solo (Kaminski; Rheinheimer, 2000). A planta possui mecanismos próprios para absorver quantidades de nutrientes necessárias para o seu desenvolvimento. Abaixo do teor de suficiência no solo a planta pode não reduzir o teor no tecido, mas apenas a capacidade de produzir tecido (Produção matéria seca), ou ambos. Acima do teor de suficiência no solo, a planta pode acumular mais que o necessário no tecido o que é chamado de “acúmulo de luxo” ou apenas o necessário para o seu desenvolvimento.

Os teores de P, K, Mg e Ca, considerando a camada mais superficial do solo (0-10 cm), estão próximos ou acima do valor de suficiência (CQFS-RS/SC, 2004), o que induz a menor probabilidade de respostas em produções de MS e ciclagem de nutrientes quando realizada a aplicação de calcário, tanto na superfície quanto incorporado.

Os dados de produção de matéria seca (Tabela 2) para a soja não diferiram, mas, no caso do milho, quando houve a lavração sem calcário diminuiu a produção de matéria seca, mantendo esta tendência para o acumulado do período.

Os dados de ciclagem de nutrientes (Tabela 3) seguem a mesma tendência que o observado para a produção de matéria seca, indicando que as menores ciclagens, quando ocorreram, foram observadas nos tratamentos com menor produção de matéria seca. Para a soja não houve resposta, na ciclagem de nutrientes, à aplicação de calcário em nenhum dos modos de preparo. Apenas para K e Mg houve maior ciclagem quando foi escarificado. Para o milho, a lavração sem calcário propiciou a menor ciclagem de P, K e Ca, quando comparado ao tratamento com aplicação de calcário, e quando comparado aos demais modos de preparo sem calagem foi menor para P e Ca. Onde foi aplicado calcário, a menor ciclagem de P, K e Ca ocorreu onde não houve revolvimento do solo.

Para o N se observa valores de ciclagem na soja muito próximos ao encontrado para o milho, embora a produção de matéria seca da soja tenha sido muito inferior, indicando a elevada concentração de N no tecido da soja, que foi em média de 2,9 %, enquanto que no tecido do milho foi de 0,87 %. A maior ciclagem também foi observada para Ca e Mg, indicando a maior necessidade destes nutrientes para a soja em comparação ao milho. Por outro lado, a maior ciclagem de P e K ocorreu na cultura do milho. Estes dados concordam com Loneragan; Snowball (1969) de que espécies dicotiledôneas apresentam maiores conteúdos de cátions divalentes no tecido vegetal em relação às monocotiledôneas.

Os dados sugerem que embora a aplicação de calcário tenha elevado os teores, principalmente de Ca e Mg no solo, ocorre uma regulação na entrada destes cátions pela membrana plasmática e a manutenção da concentração destes elementos na célula. Estes dados de maneira geral concordam com alguns trabalhos desenvolvidos em áreas conduzidas sob plantio direto, nos quais não foi observada resposta à aplicação de calcário na produção de matéria seca, e também, indicam

não haver diferenças nos teores de Ca, Mg, N, P e K no tecido quando submetidos à calagem (Caíres et al. 1998; Caíres et al. 2006; Holzschuh, 2007).

Tabela 2 - Produção de matéria seca, safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.

Modo de preparo	Soja		Milho		Acumulado	
	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Sem revolvimento	3855	3533 ^{ns}	10879 aA	8977 bA	14734 aA	12510 bB
Lavrado	3392	4019	8930 aB	11910 aA	12322 bB	15929 aA
Escarificado	4185	4287	10553 aA	11386 aA	14738 aA	15673 aA
CV%	10 ⁽¹⁾	8,89 ⁽²⁾	13,7 ⁽¹⁾	7,52 ⁽²⁾	9,4 ⁽¹⁾	5,72 ⁽²⁾

⁽¹⁾Parcela principal; ⁽²⁾ Subparcela; *ns* refere-se a interação entre modos de preparo e calagem e fatores isolados não significativa a 5% de probabilidade de erro; Letras minúsculas referem-se à comparação das médias na coluna (modo de preparo), letras maiúsculas, na linha (calagem) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3 - Ciclagem de nutrientes, safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.

Modo de preparo	Soja			Milho	
	S/ calcário	C/ calcário	Média	S/ calcário	C/ calcário
----- Nitrogênio, kg ha ⁻¹ -----					
Sem revolvimento	114,4	102,8 ^{ns*}		105,1	86,9 ^{ns*}
Lavrado	110,8	114,5		75,7	105,0
Escarificado	122,1	118,4		85,5	86,9
CV%	14,7 ⁽¹⁾	25,9 ⁽²⁾		10,7 ⁽¹⁾	15,6 ⁽²⁾
----- Fósforo, kg ha ⁻¹ -----					
Sem revolvimento	5,6	5,3 ^{ns*}		12,0 abA	11,7 bA
Lavrado	5,1	6,4		9,8 bB	15,1 aA
Escarificado	6,1	7,0		12,9 aA	12,5 bA
CV%	13,0 ⁽¹⁾	21,2 ⁽²⁾		11,6 ⁽¹⁾	13,1 ⁽²⁾
----- Potássio, kg ha ⁻¹ -----					
Sem revolvimento	51,0	47,7 ^{ns}	49,4 b	101,5 aA	79,4 bA
Lavrado	47,4	58,3	52,8 b	83,6 aB	122,3 aA
Escarificado	57,9	65,4	61,7 a	90,3 aA	108,6 aA
Média	52,1 A	57,1 A			
CV%	9,2 ⁽¹⁾	21,6 ⁽²⁾		17,3 ⁽¹⁾	11,9 ⁽²⁾
----- Cálcio, kg ha ⁻¹ -----					
Sem revolvimento	48,4	48,6 ^{ns*}		22,7 A a	17,2 Ab
Lavrado	45,3	53,5		16,2 B b	22 Aa
Escarificado	53,5	60,8		20,5 A a	20,6 Aa
CV%	15,7 ⁽¹⁾	13,7 ⁽²⁾		9,5 ⁽¹⁾	8,7 ⁽²⁾
----- Magnésio, kg ha ⁻¹ -----					
Sem revolvimento	44,8	47,6 ^{ns}	46,2 ab	13,1	12,1 ^{ns*}
Lavrado	40,8	44,5	42,7 b	11,6	14,6
Escarificado	55,8	63,1	59,4 a	11,4	11,7
Média	47,2 A	51,7 A			
CV (%)	18,8 ⁽¹⁾	12,4 ⁽²⁾		10,5 ⁽¹⁾	19,1 ⁽²⁾

⁽¹⁾Parcela principal; ⁽²⁾ Subparcela; *ns* refere-se a interação não significativa entre modos de preparo e calagem, a 5% de probabilidade de erro; *sem diferença significativa entre os níveis do fator A e B. Letras minúsculas referem-se à comparação das médias na coluna (modo de preparo), letras maiúsculas, na linha (calagem) pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.4 Produtividade de grãos

Para o cultivo da soja houve déficit hídrico em vários períodos durante o ciclo da cultura, principalmente no mês fevereiro (Apêndice A), e estas baixas precipitações afetaram a produtividade da soja, pois aconteceram durante os estádios de floração e enchimento de grãos, quando as plantas têm alta demanda de água. A consequência foi uma produtividade média de 2190 kg ha⁻¹, que é considerada baixa (Tabela 4). Possivelmente isso justifique a falta de resposta à produtividade de grãos de soja, tanto aos modos de preparo do solo, quanto à aplicação de calcário.

Entretanto, existe uma tendência de aumento na produtividade, onde foi realizada a escarificação, fato reforçado pela produção de matéria seca (Tabela 2), o que pode ser atribuído à eliminação de zonas compactadas, e por consequência um maior crescimento radicular em profundidade (Figura 18), o que pode ter favorecido as plantas, pois houve um período de déficit hídrico prolongado, como referido anteriormente. Com isso, as plantas puderam aprofundar as raízes na busca de água. Para Gonzalez-Erico et al. (1979) a incorporação de calcário até 30 cm, mostrou, em relação ao método tradicional até (15 cm), um acréscimo de 1300 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos de milho em um Latossolo Vermelho-Escuro do Brasil Central. Essa maior produtividade foi atribuída à penetração das raízes em maior profundidade, o que permitiu que a planta resistisse por um período maior de tempo, durante o veranico.

A tendência de maior produtividade de grãos onde foi escarificado parece estar mais relacionada ao rompimento de impedimentos físicos (Figura 2) abaixo dos 20 cm e possibilidade de maior infiltração, maior cobertura do solo e armazenamento de água onde foi escarificado quando comparado com a lavração, em períodos de déficit hídrico.

O cultivo do milho no ano seguinte ocorreu sob condições climáticas menos restritivas do que havia acontecido para a soja, no ano anterior (Apêndice B). Contudo, a produtividade média de 5810 kg ha⁻¹ pode ser considerada satisfatória, apesar do potencial do milho, nas condições de lavoura onde foi conduzido, ser maior. Evidentemente que isso contribuiu para nivelar todos os tratamentos, como comentado para a soja anteriormente, mas, no caso do milho, quando o solo foi

lavrado no ano anterior e não foi aplicado calcário, a produtividade de grãos foi menor. Isso pode ter acontecido porque com a lavração ocorre a deposição em camadas mais superficiais do solo de camadas mais profundas e que apresentavam altos teores e saturação com Al (Figuras 9 e 10).

Nesse sentido, Caíres et al. (1998) constataram que a soja não respondeu à aplicação de calcário, num Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto, com pH em CaCl_2 de 4,5, 32% de saturação por bases e 18% de saturação com alumínio, na camada de 0-20 cm. Para Holzschuh (2007), saturações por bases em torno de 45% na camada de 0-10 e de 30 % na camada de 0-20 cm encontradas nas testemunhas, não foram limitantes ao desenvolvimento da aveia e da soja. No presente estudo, o revolvimento do solo por escarificação não reduziu a produtividade das culturas mesmo quando sob saturação por bases de 39% na camada de 0-10 cm (considerando a média de 0-5 e 5-10 cm) e 26% na camada de 10-20 cm (considerando a média de 10-15 e 15-20 cm) e saturações com Al de 15 e 37% para as respectivas camadas.

Em um experimento que o calcário foi incorporado ao solo com aração e gradagem (0-20 cm) a partir do campo nativo, em dose para elevar o pH do solo em água a 6,0. Esse solo recebeu três reaplicações de calcário (1992, 1996 e 2000) na superfície quando em sistema plantio direto contínuo e incorporado no cultivo convencional ou no sistema plantio direto com aração e gradagem a cada quatro anos, ocorreram neutralização total do alumínio, elevação da saturação por bases e melhor distribuição de nutrientes no perfil do solo com o revolvimento, comparativamente ao sistema plantio direto contínuo (Amaral, 2002; Amaral; Anghinoni, 2001).

Porém, as diferenças nos atributos químicos e físicos do solo decorrentes do revolvimento ou não do solo, nos diferentes sistemas de manejo, não foram suficientes para influir na produtividade das culturas (Marcolan; Anghinoni, 2006). Estes dados também concordam com os observados, visto que a lavração apesar de ser a prática mais eficiente em corrigir a acidez do solo em profundidade, não refletiu em aumento em produtividade em relação à calagem superficial.

Em uma série de resultados experimentais com soja e milho conduzidos no Paraná, Sá (1999) mostra que houve melhorias em condições químicas do solo com a incorporação do calcário com lavração e gradagem, mas que isso não se refletiu em aumentos de produtividade em relação à aplicação superficial. No entanto, esse

autor alerta que materiais genéticos mais sensíveis à acidez do solo são mais responsivos que os tolerantes à correção da acidez em profundidade.

A falta de resposta à calagem também foi observada por Pöttker; Ben (1998), Caíres et al. (1999), Caíres et al. (2000), Rheinheimer et al. (2000), Caíres et al. (2004). Estes autores atribuem que a falta de resposta à calagem pode estar relacionada a teores de Ca, Mg, P e K suficientes ao desenvolvimento das plantas, atribuídos a aplicações residuais anteriores de adubação e calcário. Outro fator, que explica estes resultados seria o menor efeito tóxico do Al, devido à redução da concentração de espécies tóxicas (Al^{+3} e $AlOH^{+2}$) e pela complexação do Al por ligantes orgânicos favorecidas pelas condições criadas pelo plantio direto, principalmente na camada superficial.

Outro fator a ser considerado para a resposta das culturas à calagem é a precipitação pluvial. Onde o solo é mantido com umidade, sem deficiência hídrica, os resultados parecem mostrar que a acidez do solo (Freire, 1984) e a compactação Silva (2003) em profundidade passam a não comprometer tanto as produções, pela existência de maior disponibilidade de água, sendo que as plantas não necessitam aprofundar o sistema radicular na busca de água.

Adicionalmente, no plantio direto há crescimento preferencial das raízes em bioporos, cujo ambiente é mais favorável, sendo que os valores dos atributos da acidez do solo analisados como um todo podem não representar o real ambiente de crescimento radicular (Gassen; Kochhann, 1998). Outro fator que deve ser considerado é que no desenvolvimento inicial das raízes ocorre em um ambiente com baixos teores de Al, e quando as raízes atingem camadas com maiores teores, elas toleram melhor sua presença, como observado por Rheinheimer et al. (1994) com a cultura do fumo.

Em áreas que vem sendo cultivadas há anos, e que já sofreram aplicações de calcário e fertilizante, as condições de resposta à calagem são menores e, portanto, a calagem associado à incorporação por escarificação poderia ser usada pelo fato de ter como vantagens, em relação à lavração e gradagem, além de menor risco de erosão e menor custo operacional, maior infiltração de água e cobertura do solo (Boller, 1996; Camara; Klein, 2005), o favorecimento do ambiente para a descida dos efeitos do calcário e a possibilidade de rompimento de camadas compactadas em maiores profundidades que a lavração. Em relação a calagem superficial, a incorporação por escarificação proporciona a possibilidade de maior rapidez na

correção da acidez em profundidade, maior infiltração de água e rompimento de camadas compactadas superficiais e subsuperficiais. Estes fatores favorecem o ambiente para o desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, representando principalmente em períodos de déficit hídrico (apêndice A), possibilidade de aumento na produtividade das culturas. Sá (1999) observou que após sete cultivos a produção acumulada do período indicou que a escarificação como modo de incorporação de calcário propiciou produtividades semelhantes aos demais modos de incorporação.

A tomada de decisão para a aplicação de calcário na superfície ou incorporada em áreas que vem sendo conduzidas sob plantio direto, e que receberam calagens anteriores, deve ser tomada baseada, além dos parâmetros de acidez do solo, na compactação do solo, no monitoramento das produtividades das culturas, nos riscos de erosão da área, na disponibilidade de recursos, entre outros fatores.

Tabela 4 – Produtividade de grãos, safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.

Modo de preparo	Soja		Milho		Acumulado	
	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário	Sem calcário	Com calcário
	----- kg ha ⁻¹ -----					
Sem revolvimento	2084	2162 ^{ns}	5974 aA	6041 aA	8058 aA	8203 abA
Lavrado	2028	2179	5252 bB	6087 aA	7280 bB	8266 aA
Escarificado	2255	2429	5837 aA	5670 aA	8091 aA	7994 bA
CV%	7,7 ⁽¹⁾	7,4 ⁽²⁾	2,7 ⁽¹⁾	4,4 ⁽²⁾	2,55 ⁽¹⁾	2,81 ⁽²⁾

⁽¹⁾Parcela principal; ⁽²⁾ Subparcela; *ns* refere-se a interação entre modos de preparo e calagem e os níveis do fator A e B isolados, não significativa a 5% de probabilidade de erro; Letras minúsculas referem-se à comparação das médias na coluna (modo de preparo), letras maiúsculas, na linha (calagem) pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

4.5 Análise econômica

A relação entre o preço dos insumos e dos produtos agrícolas é cada vez mais importante no planejamento agrícola. O retorno econômico é uma medida importante de rentabilidade da atividade agropecuária, uma vez que mostra a taxa disponível de receita da atividade após o pagamento de todos os custos operacionais, encargos, etc., inclusive depreciações (Martin et al. 1998).

Neste estudo foi avaliado qual das práticas agrícolas traria maior margem líquida ao final de dois cultivos (soja e milho), (Tabela 5). A aplicação de calcário comprometeu aproximadamente 6%, a escarificação 3%, a lavração 6%, a aplicação de calcário mais escarificação 8% e a aplicação de calcário mais lavração 11% do custo total para os cultivos de soja e milho.

Apesar de aumentar os custos de implantação dos tratamentos comparados com a testemunha não houve diferenças na margem líquida devido ao custo destas operações representarem um percentual de no máximo 11% do custo total, exceto quando foi realizado apenas a lavração sem calcário.

A calagem e incorporação com lavração, apesar de ser a prática agrícola mais onerosa, se constituiu numa prática que propiciou margem líquida próxima às maiores margens líquidas. Porém, tem que se considerar que não foi realizado a gradagem, o que aumentaria ainda mais os custos de implantação deste tratamento, diminuindo a margem líquida. Já a menor margem líquida, onde foi realizado apenas a lavração, ocorreu devido as menores produtividades (Tabela 4) neste tratamento.

Após sete cultivos Sá (1999), encontrou o melhor retorno econômico quando a aplicação de calcário foi realizada na superfície em comparação ao calcário incorporado, quando usou cultivares tolerantes a acidez, porém quando utilizou cultivares suscetíveis houve um maior retorno econômico quando o calcário foi incorporado.

Porém, sabe-se que o efeito residual da calagem é prolongado, e, portanto, a tendência é que com o passar dos anos onde não foi aplicado calcário ocorra à diminuição do pH e, portanto existe a tendência de redução de produtividade. Por outro lado, onde foi revolvido o solo e incorporado calcário, a tendência é de manutenção de pH próximo do que seria considerado ideal para as culturas por mais tempo, além de ter revolvido possíveis camadas compactadas em profundidade, o

que pode propiciar ambiente favorável para a manutenção ou aumento da produtividade com o passar do tempo. Então, com o passar dos anos, talvez onde tenha sido aplicado calcário possa apresentar maior margem líquida do que onde não foi aplicado calcário. Por isso, a avaliação por longos períodos, e em vários locais é de grande importância para a definição da melhor prática agrícola a ser realizada.

O fato de que não tenha sido encontrada diferença para os diferentes modos de preparo e calagem sugere que o técnico e o produtor, nessas condições, podem optar por qual operação realizar, porém alguns pontos devem ser considerados, como: o período para uma nova intervenção na área, o risco de erosão da área, tempo e máquinas disponíveis, o preço dos insumos utilizados, condição financeira do produtor e condições de financiamento.

Tabela 5 - Análise econômica safras 2005/2006 e 2006/2007, em um Latossolo Vermelho sob plantio direto, submetido a modos de preparo e calagem.

Tratamentos	Receita Bruta*		Custo da Implantação **		Custo total ***		Margem Líquida ****	
	S/ calcário	C/ calcário	S/ calcário	C/ calcário	S/ calcário	C/ calcário	S/ calcário	C/ calcário
	----- R\$ ha ⁻¹ -----							
Sem revolvimento	2591	2641	0	85	1399	1484	1192 aA	1157 aA
Lavração	2353	2661	83	168	1482	1567	871 bB	1094 aA
Escarificação	2615	2592	40	125	1439	1524	1176 aA	1068 aA

*Receita bruta = Produtividade x Preço (Soja a R\$ 383,3 e milho R\$ 300,0 ton⁻¹); **Custo da implantação = custo total (fixos + variáveis) da implantação dos tratamentos / 5 anos) x 2 anos; ***Custo Total = Custo da Implantação dos tratamentos + custo total produção (Milho e Soja); ****Margem Líquida = receita bruta soja e milho - custo total

5 CONCLUSÕES

Considerando os parâmetros químicos do solo, a aplicação de calcário com incorporação por lavração foi o modo mais eficiente de correção da acidez em subsuperfície (10-20 cm).

A acidez em subsuperfície (10-20 cm) não foi limitante à produtividade da soja e do milho quando a camada superficial estava em níveis recomendados pela CQFS-RS/SC (2004), o que não permitiu a definição do melhor modo de aplicação de calcário sob o ponto de vista de produtividade de grãos e viabilidade econômica.

5.1 Considerações finais

Os resultados obtidos por este trabalho permitem estabelecer algumas considerações sobre a prática da calagem em sistema plantio direto:

a) a lavração, quando usada para corrigir possíveis problemas físicos, pode representar redução na produtividade das culturas devido à exposição de camadas subsuperficiais com elevada acidez na superfície do solo;

b) a escarificação como modo de preparo do solo, pode propiciar melhor distribuição do sistema radicular em profundidade o que pode aumentar a produtividade das culturas, principalmente em períodos de déficit hídrico;

c) não se atingiu o pH que se desejava para nenhuma camada de solo, o que pode ser atribuído à subestimação da dose a aplicar pelo SMP e/ou o valor do PRNT do calcário não condizer com o estabelecido na nota de venda do produto. Desse modo, por não ter se atingido o pH que se desejava inicialmente, pode ter ocorrido limitação no efeito do calcário;

d) do ponto de vista econômico, apesar de aumentar os custos de implantação dos tratamentos em relação à testemunha, não houve diferenças na margem líquida, pois o custo do calcário e das operações (distribuição de calcário, lavração, escarificação) representou um percentual de no máximo 11% do custo total para as culturas da soja e do milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.28, p. 519-531, 2004.

ALCARDE, J. C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, Campinas, 1983. **Anais....** Campinas, 1983. p.11-22.

ANIOL, A. Induction of aluminum tolerance in wheat seedlings by low doses of aluminium in the nutrient solution. **Plant Physiol**, v. 75; n. 3, p. 551-555, 1984.

AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107 f. Tese (Doutorado em ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. (ed.) **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p. 41-59.

ANGHINONI, I.; BISSANI, C. A. Correção da acidez do solo. In: Bissani C. A. et al. (ed.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. p. 153-166.

AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 191-198, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; SMITH, M. S. Changes in soil properties after 10 of years continuous non-tillage and conventionally tilled corn. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, n. 2, p. 135-146, 1983.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlim, Springer-Verlang, 1979. 188 p.

BOHNEN, H.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J., (ed.) **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p.163-181.

BOLLER, W. **Avaliação de diferentes sistemas de manejo do solo visando à implantação da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)** 1996. 272 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1996.

BERTOL, O. J.; FISCHER, I. I. Semeadura direta versus sistema de preparo reduzido: efeito na cobertura do solo e no rendimento da cultura da soja. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal. v. 17, p. 87–96, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**, Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

CAIRES, E. F. et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 30, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 25, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; BANZATO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, v.24, p.161-169, 2000.

CAIRES, P. E., CHVEIRI, A. W., MADRUGA, E. F. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistemas de cultivos sem preparo do solo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.789-96, 2005.

CAMARGO, D.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Piracicaba : USP/ESALQ, 1997. 132 p.

CANAL, I. N.; MIELNICZUK, J. Parâmetros para a absorção de potássio em milho (*Zea mays* L.), afetados pela interação alumínio-cálcio. **Ciência e Cultura**, v. 35, p. 336-340, 1983.

CASSOL, L. C. **Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo**. 1995. 97 f. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

CIOTTA, M. N. et al. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 317-326, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: NRS/SBCS, 2004. 400p.

DE SOUZA, L. F. C. Máquinas para a distribuição e incorporação de calcário. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO. 2., 1989. **Anais....** Santa Maria: Ed. UFSM, 198 p. 200-224.

DOSS, B. D.; LUND, Z. F. Subsoil pH effects on growth and field of cotton. **Agronomy Journal**. V.67, p. 193-196, 1975.

ELTZ, F. L. P.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v.13, p. 259-257, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 247 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 374 p.

FEDERAÇÃO Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área sob plantio direto**. <http://www.febrapdp.org.br/arquivos/BREvolucaoPD72a06.pdf> acessado em 23 de março de 2007.

FERRERAS, L.A. et al. Parâmetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 36, n. 1, p. 161-170, 2001.

FOY, C. D.; FLEMING, A. L. The physiology of plant tolerance to excess available aluminium and manganese in acid soil. In: **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. ASSA/CSSSA/SSSA, 1978. p. 301-343 (Special publications, 32).

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.29, p. 235-247. 2005.

FRANCHINI, J. C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 533-542, 1999.

FREIRE, J. C. Resposta do milho a níveis de água e formas de aplicação de calcário em dois solos originalmente sob cerrado em casa de vegetação. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 8, p. 305-308, 1984.

GASSEN, D.N.; KOCHHANN, R.A. Benefícios de insetos de solo sob plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: NRS/SBCS, 1998. Cap.4, p.151-160.

GATIBONI, L.C. et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no SPD consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 282-290, 2003.

GONZALES-ERICO, E. et al. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 43, p.1155-1158, 1979.

HAYNES, R.J.; MOKOLOBATE, M.S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutr. Cycl. in Agroecosyst.**, Dordrecht, v.59, p.47-63, 2001.

HOLZSCHUH, M. J. **Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto**. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

INOUE, T. T. et al. Influência da escarificação em propriedades físicas de um Latossolo vermelho distroférrico após 13 anos de plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. **Resumos Expandidos**. Cuiabá: SBCS, 2002. 1 CDROM.

KAMINSKI, J. et al. Acidez e calagem no sul do Brasil: Aspectos históricos e perspectivas futuras. In: CERETTA, C. A. et al. (Ed.) **Tópicos em ciência do solo**. n 5. Viçosa: SBCS, cap. 5; 2007 (no prelo).

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 69, p. 573-580, 2005.

KAMINSKI, J. et al. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1107-1113, 2002.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. A acidez do solo e a nutrição mineral de plantas. In: KAMINSKI, J. (Ed.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas : SBCS/NRS, 2000. Cap.2, p.21-39.

KAMINSKI, J. et al. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n. 4, p.605-609, 2000.

KELTJENS, W. G. Plant adaptations and tolerance to acid soils. It's possible Al tolerance: A review. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW PH, 1997, Viçosa. **Proceedings...** Viçosa: SBCS, 1997. Cap. 8, p. 109-117.

KLEIN, V. A. et al. Equipamento para incorporação de calcário em solos sob plantio direto. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Resumos Expandidos**. Passo Fundo, RS, 2006.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo :EMBRAPA-CNPT, 2000. 36 p.

LONERAGAN, J. F.; SNOWBALL, K. Calcium requirements of plants. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 20, p. 465-478. 1979.

MARCOLAN, A.L. ; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 30, p. 163-170, 2006.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob sistema plantio direto consolidado**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MARTIN, B. N. et al. Sistema Integrado de Custos Agropecuários. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 1, jan. 1998.

MELLO IVO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **R. Bras.Ci. Solo**, Campinas, v. 23, p. 135-143, 1999.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 411-416, 1993.

MOREIRA, S. G. et al. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **R. bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 25, p. 71-81. 2001.

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 7, p. 75-102, 1983.

NETO, P. H. W. et al. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 257-261, 2000.

PAIVA, P. J. R. et al. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.20, p. 71-75, 1996.

PAVAN, M. A.; ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a brazilian oxisol. **Ciência e cultura**, v. 44, p. 391-394, 1992.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**. Viçosa, v. 25, p. 885-895, 2001.

PETRY, C. et al. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: I. Efeito dos parâmetros cinéticos de absorção de fósforo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, p. 69-72, 1994.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**. Campinas, v. 22, p. 675 – 684, 1998.

QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja a aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **R. Bras. Ci. Solo**. Campinas, v.28, p. 375-383, 1993.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 263-268, 2000a.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000b.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob SPD. **R. Bras. Ci. Solo**. Campinas, v. 22, p. 713-721, 1998.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: I. Efeito no sistema radicular, na absorção de fósforo e cálcio e na produtividade de matéria seca. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 8, p. 63-68, 1994.

RICHARDS, J. E. et al. Incorporation of limestone into naturally compacted subsoil during deep-ripping. **Soil & Tillage Reseach**. v. 36, p. 21-32, 1995.

ROSOLEM C. A. et al. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, p. 491-497, 1994.

ROSOLEM, C.A. et al. Preparo do solo e sistema radicular do trigo. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 16, p. 115-120. 1992.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. p. 267-319.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade de alumínio na solução de um solo no sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**. v. 1, p. 9-13, 1999.

SANTOS, E. J. S. **Aplicação de calcário em solos arenosos sob sistema plantio direto e campo nativo**. 1997. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1997.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 9, p. 249-254, 1985.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 192 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOUSA, D. M. G. Resposta das culturas à adição de gesso agrícola. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, **Anais.....**, 2004, Lages: SBCS/UDESC, 2004. 1 CD ROM.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

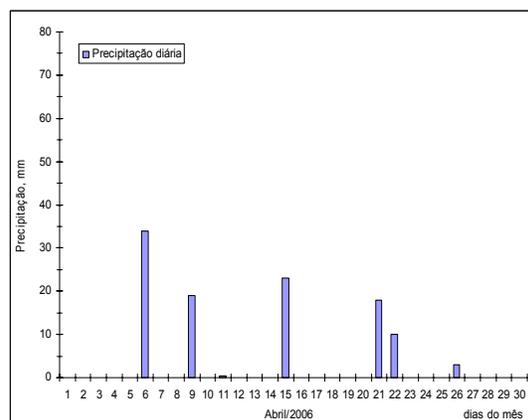
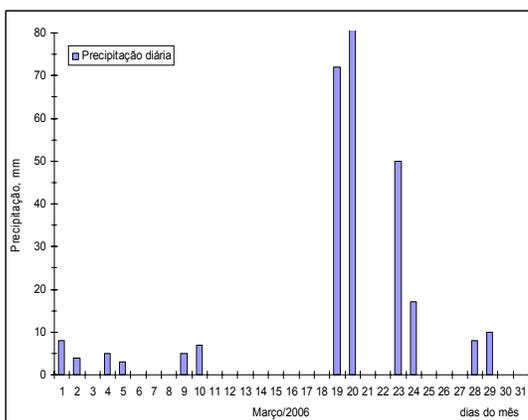
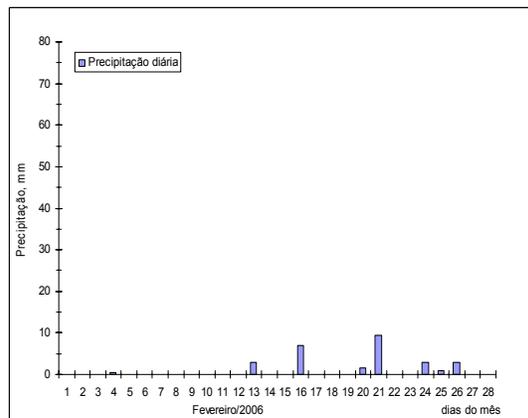
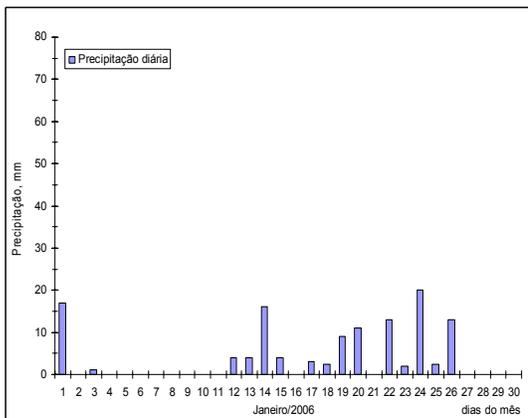
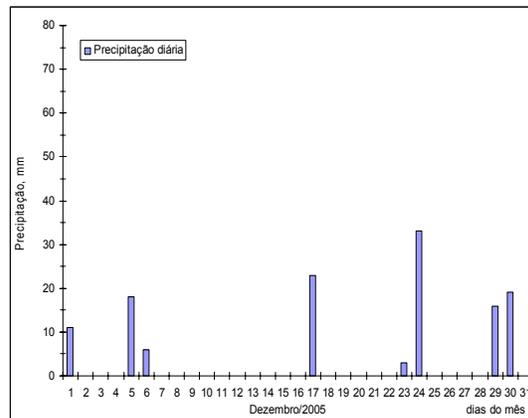
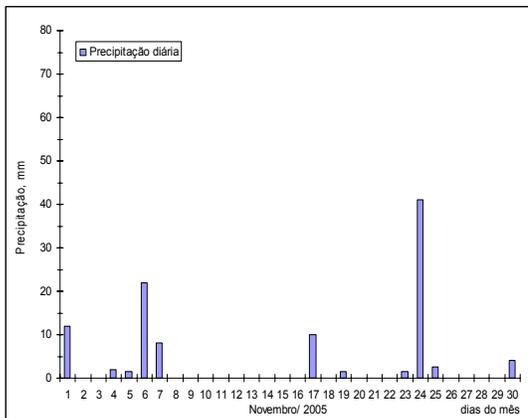
TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p. 95-113.

VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética de absorção de fósforo em cultivares de soja afetadas pela interação alumínio-fósforo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 8, p. 91-96, 1984.

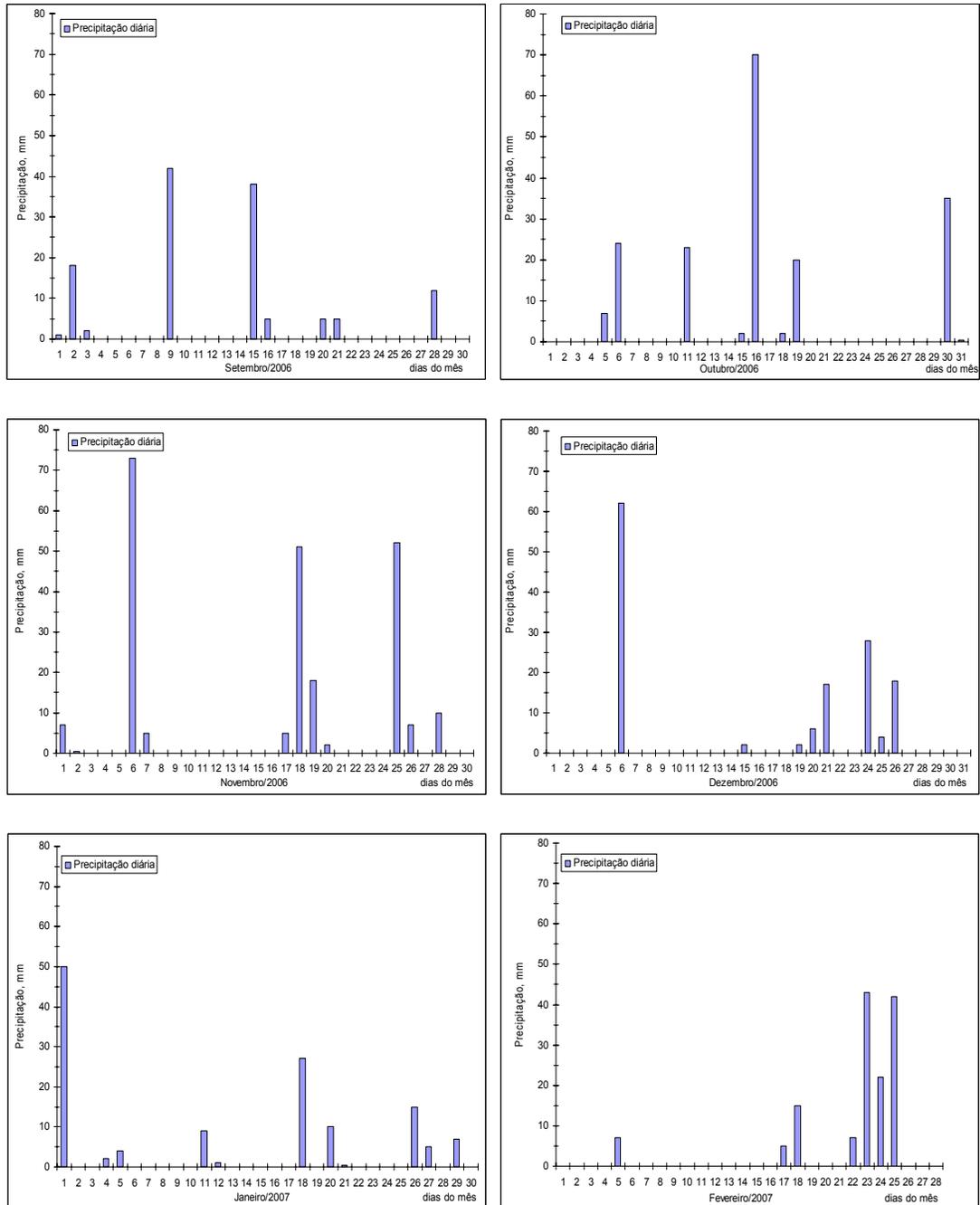
VOLKWEISS, S. J. Química da acidez dos solos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO. 2., 1989. **Anais....** Santa Maria: Ed. UFSM, 198. p. 7-38.

APÊNDICES

Apêndice A - Precipitação diária durante o ciclo da cultura da soja safra 2005/2006.
 Dados obtidos Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Estação Meteorológica de Cruz Alta - RS.



Apêndice B - Precipitação diária durante o ciclo da cultura do milho safra 2006/2007.
 Dados obtidos Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Estação Meteorológica de Cruz Alta - RS.



Apêndice C - Estimativa dos custos das operações realizadas e insumos utilizados para a implantação dos tratamentos.

Operação/Insumo	R\$/há
Lavração	184,16*
Escarificação	89,92*
Distribuição do calcário	17,45*
Abastecimento	4,00*
Calcário	168,75
	R\$/h
Mão-de-Obra	6,57

* Custos fixos e variáveis, incluindo a mão-de-obra;

Apêndice D - Estimativa dos custos das operações realizadas e insumos utilizados para a soja e milho, safras 2005/2006 e 2006/2007.

Soja		Milho	
Operação/Insumo	Custo* R\$ ha⁻¹	Operação/Insumo	Custo* R\$ ha⁻¹
Pulverização	14,67	Pulverização	14,67
Glifosato	30,00	Glifosato	30,00
Semeadura	72,18	Semeadura	65,18
Semente	65,50	Semente	200,00
Adubo	117,48	Adubo	224,40
Pulverização	14,67	Pulverização	14,67
Glifosato	30,00	Herbicida	54,00
Pulverização	14,67	Inseticida	33,00
Glifosato	30,00	Distribuição Uréia	4,09
Fungicida	50,00	Uréia	126,00
Inseticida	14,00	Colheita	85,73
Colheita	53,79	Transporte	27,00
Transporte	13,80		
Total soja	520,75	Total milho	878,73
Custo Total			1399,48

* Para o custo das operações foi considerado custos fixos e variáveis levantados junto ao produtor

Apêndice E - Análise da variância para a produção de MS da soja.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	32400.67502779	10800.22500926	0.0718	0.973
A	2	1533336.39426158	766668.19713079	5.0942	0.051
bloco*A	6	902992.61336808	150498.76889468	1.2659	0.360
D	1	110342.19553704	110342.19553704	0.9282	0.361
A*D	2	904528.95613658	452264.47806829	3.8043	0.063

Média: 3878.55554167
Raiz Quad. QMres.: 344.79514401
Coef. Variação: 8.88978230

Apêndice F - Análise da variância para a produção de MS do milho

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	2	1914173.66550045	957086.83275022	0.4649	0.658
A	2	3257065.64652879	1628532.82326439	0.7911	0.513
bloco*A	4	8234770.40626422	2058692.60156605	3.3440	0.091
D	1	1826791.87961250	1826791.87961250	2.9673	0.136
A*D	2	17957276.22780434	8978638.11390217	14.5843	0.005*

Média: 10438.97394444
Raiz Quad. QMres.: 784.62560712
Coef. Variação: 7.51630966

*Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice G - Análise da variância para a MS acumulada soja e milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	2308175.98912946	769391.99637649	0.4212	0.745
A	2	10471871.92737638	5235935.96368819	2.8667	0.134
bloco*A	6	10958823.16894967	1826470.52815828	2.7268	0.086
D	1	3582911.78597204	3582911.78597204	5.3490	0.046*
A*D	2	34076320.22939430	17038160.11469715	25.4368	0.000*

Média: 14317.52945833
Raiz Quad. QMres.: 818.42788539
Coef. Variação: 5.71626472

*Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice H - Análise da variância para a produção de grãos de soja.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	61250.82398683	20416.94132894	0.7344	0.568
A	2	166508.27371408	83254.13685704	2.9947	0.125
bloco*A	6	166803.96627392	27800.66104565	1.0857	0.437
D	1	59477.54232067	59477.54232067	2.3228	0.162
A*D	2	8103.03418808	4051.51709404	0.1582	0.856

Média: 2171.98408333
Raiz Quad. QMres.: 160.01806487
Coef. Variação: 7.36736821

Apêndice I - Análise da variância para a produção de grãos de milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	163819.20141546	54606.40047182	1.8045	0.247
A	2	498001.35364359	249000.67682179	8.2283	0.019*
bloco*A	6	181568.32044042	30261.38674007	0.5646	0.750
D	1	360807.14449004	360807.14449004	6.7313	0.029*
A*D	2	1097950.21889159	548975.10944579	10.2418	0.005*

Média: 5810.10104167
Raiz Quad. QMres.: 231.51944183
Coef. Variação: 3.98477479

*Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice J - Análise da variância para a produção de grãos acumulada de soja e milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	68811.16548346	22937.05516115	0.5550	0.664
A	2	556435.78355337	278217.89177668	6.7323	0.029*
bloco*A	6	247954.35753424	41325.72625571	0.8195	0.582
D	1	713268.76252233	713268.76252233	14.1451	0.004*
A*D	2	1293281.67058650	646640.83529325	12.8238	0.002*

Média: 7982.08486250
Raiz Quad. QMres.: 224.55515013
Coef. Variação: 2.81323932

*Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice K - Análise da variância para a margem líquida safra 2005/2006 e 2006/2007.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	5774.43537062	1924.81179021	0.3941	0.762
A	2	156438.64048025	78219.32024013	16.0154	0.004*
bloco*A	6	29304.01314473	4884.00219079	0.9256	0.520
D	1	4221.05417625	4221.05417625	0.7999	0.394
A*D	2	121537.50725271	60768.75362635	11.5162	0.003*

Média: 1093.05076465
 Raiz Quad. QMres.: 72.64164956
 Coef. Variação: 6.64577089

*Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice L - Análise da variância para a ciclagem de N para a soja.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	1421.77125000	473.92375000	1.6800	0.269
A	2	556.89583333	278.44791667	0.9870	0.426
bloco*A	6	1692.62750000	282.10458333	0.3237	0.908
D	1	92.43375000	92.43375000	0.1061	0.752
A*D	2	236.48250000	118.24125000	0.1357	0.875

Média: 113.85416667
 Raiz Quad. QMres.: 29.51916280
 Coef. Variação: 25.92716952

Apêndice M - Análise da variância para a ciclagem de P para a soja.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	6.82004583	2.27334861	3.8543	0.075
A	2	5.41363333	2.70681667	4.5892	0.062
bloco*A	6	3.53896667	0.58982778	0.3787	0.875
D	1	2.47683750	2.47683750	1.5905	0.239
A*D	2	2.85190000	1.42595000	0.9157	0.435

Média: 5.89291667
 Raiz Quad. QMres.: 1.24791882
 Coef. Variação: 21.17659036

Apêndice N - Análise da variância para a ciclagem de K para a soja.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	865.99500000	288.66500000	11.5084	0.007*
A	2	644.73250000	322.36625000	12.8520	0.007*
bloco*A	6	150.49750000	25.08291667	0.1795	0.975
D	1	152.00666667	152.00666667	1.0881	0.324
A*D	2	223.49083333	111.74541667	0.7999	0.479

Média: 54.62500000
 Raiz Quad. QMres.: 11.81967522
 Coef. Variação: 21.63784937

*Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice O - Análise da variância para a ciclagem de Ca para a soja.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	264.34833333	88.11611111	1.3351	0.348
A	2	361.39750000	180.69875000	2.7378	0.143
bloco*A	6	396.00916667	66.00152778	1.3233	0.338
D	1	165.37500000	165.37500000	3.3158	0.102
A*D	2	76.70250000	38.35125000	0.7690	0.492

Média: 51.67500000
 Raiz Quad. QMres.: 7.06220378
 Coef. Variação: 13.66657722

Apêndice P - Análise da variância para a ciclagem de Mg para a soja.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	3	497.84833333	165.94944444	1.9116	0.229
A	2	1249.05583333	624.52791667	7.1939	0.025*
bloco*A	6	520.88416667	86.81402778	2.3007	0.126
D	1	124.21500000	124.21500000	3.2919	0.103
A*D	2	22.41750000	11.20875000	0.2971	0.750

Média: 49.44166667
 Raiz Quad. QMres.: 6.14272379
 Coef. Variação: 12.42418430

*Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice Q - Análise da variância para a ciclagem de N para o milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	2	446.72097378	223.36048689	2.3542	0.211
A	2	288.99953878	144.49976939	1.5230	0.322
bloco*A	4	379.51423656	94.87855914	0.4713	0.757
D	1	76.89653422	76.89653422	0.3820	0.559
A*D	2	1709.78583611	854.89291806	4.2464	0.071

Média: 90.84377778
Raiz Quad. QMre.: 14.18880891
Coef. Variação: 15.61891112

Apêndice R - Análise da variância para a ciclagem de P para o milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	2	5.31109744	2.65554872	1.3020	0.367
A	2	2.50841811	1.25420906	0.6149	0.585
bloco*A	4	8.15816489	2.03954122	0.7864	0.574
D	1	10.36338689	10.36338689	3.9960	0.093
A*D	2	32.60343544	16.30171772	6.2857	0.034*

Média: 12.30855556
Raiz Quad. QMres.: 1.61042384
Coef. Variação: 13.08377602

* Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice S - Análise da variância para a ciclagem de K para o milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	2	80.43086544	40.21543272	0.1407	0.873
A	2	496.61886044	248.30943022	0.8687	0.486
bloco*A	4	1143.38128889	285.84532222	2.1137	0.197
D	1	609.58680556	609.58680556	4.5075	0.078
A*D	2	2863.24995511	1431.62497756	10.5860	0.011*

Média: 97.62388889
Raiz Quad. QMres.: 11.62917769
Coef. Variação: 11.91222540

* Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice T - Análise da variância para a ciclagem de Ca para o milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	2	27.46918611	13.73459306	3.8847	0.116
A	2	6.74318678	3.37159339	0.9536	0.459
bloco*A	4	14.14212889	3.53553222	1.1935	0.402
D	1	0.06265800	0.06265800	0.0212	0.889
A*D	2	94.71705633	47.35852817	15.9876	0.004*

Média: 19.85988889
Raiz Quad. QMres.: 1.72110544
Coef. Variação: 8.66623903

* Significativo a 5% de probabilidade

Apêndice U - Análise da variância para a ciclagem de Mg para o milho.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
bloco	2	11.15823211	5.57911606	3.2890	0.143
A	2	7.63727511	3.81863756	2.2512	0.221
bloco*A	4	6.78511689	1.69627922	0.3026	0.866
D	1	2.73234272	2.73234272	0.4874	0.511
A*D	2	12.73017644	6.36508822	1.1355	0.382

Média: 12.41272222
Raiz Quad. QMres.: 2.36757317
Coef. Variação: 19.07376262