

Alterações físicas e químicas num cambissolo húmico de campo nativo após a correção da acidez

Physical and chemical modifications in a humic cambissol under native grass after liming

André da Costa¹, Jackson Adriano Albuquerque^{2,3}, Paulo Roberto Ernani^{2,3}, Cimélio Bayer^{3,4},
Liliane Márcia Mertz⁵

Recebido em 14/07/2006; aprovado em 02/03/2007.

RESUMO

Os agricultores estão introduzindo culturas anuais em áreas de campo nativo, utilizando diferentes sistemas de manejo e métodos de correção da acidez. Para conhecer melhor as mudanças nas propriedades físicas e químicas do solo destas interferências sobre o campo nativo, avaliou-se o efeito de métodos de aplicação e doses de calcário em área de campo nativo para cultivo de milho nos sistemas: 1) PD 1,0i - plantio direto com calcário incorporado na implantação do experimento nas doses de 0, 0,25, 0,5, 1,0 e 1,5 SMP; 2) PD 1,0s - plantio direto com calcário superficial nas mesmas doses na implantação do experimento e; 3) PD 0,3s - plantio direto com calcário superficial nas mesmas doses e divididas em três vezes, reaplicadas a cada três anos. O experimento em blocos casualizados foi instalado em um cambissolo húmico de campo nativo em Lages, SC, com pH em água de 4,4 e necessidade de calcário de 24 Mg ha⁻¹ para elevar o pH até 6,0. Foram determinadas: densidade do solo e de partículas; macro, micro e porosidade total; resistência à penetração; condutividade hidráulica saturada; estabilidade de agregados; carbono orgânico; pH em água; distribuição do tamanho das partículas e; grau de floculação em quatro camadas de 0,05 m cada uma, até os 0,20 m de profundidade. A incorporação do calcário corrigiu a acidez do solo na camada de 0-0,10 m, enquanto a aplicação superficial com dose integral corrigiu apenas a camada de 0,0-0,05 m. O revolvimento do solo no campo nativo, com lavração e gradagem para

incorporação do calcário, foi benéfico para a qualidade do solo quanto a redução da densidade, da microporosidade, da resistência à penetração e ao aumento da porosidade total, da macroporosidade e do grau de floculação. Houve prejuízos à qualidade do solo pela redução da estabilidade dos agregados e do conteúdo de carbono. As doses de calcário não modificaram as propriedades físicas avaliadas, apenas elevaram o pH do solo.

PALAVRAS-CHAVE: métodos de correção da acidez; plantio direto; estrutura do solo.

SUMMARY

Farmers are introducing annual crops under native grass utilizing different soil management and limestone application methods. In order to know better the changes of physical and chemical soil properties caused by these interferences, the effect of methods and rates of liming under native grass to corn cultivation were evaluated in the following systems: 1) NT 1.0i – no-tillage, incorporated liming at the experiment implantation, with rates of 0, 0.25, 0.5, 1.0 and 1.5 SMP; 2) NT 1.0s – no-tillage with superficial liming at the experiment implantation with the same rates; 3) NT 0.3s – no-tillage with superficial liming at the experiment implantation with the same rates divided and reapplied each three years. The completely randomized blocks design was used. The trial was set in a humic cambissol with native grass, located in Lages, SC. The soil had a water pH of 4.4.

¹Aluno do Mestrado em Ciência do Solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Bolsista da CAPES.

²Professor do Departamento de Solos – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000, Lages (SC). jackson@cav.udesc.br.

³Pesquisador do CNPq.

⁴Professor do Departamento de Solos – UFGRS. Caixa Postal 15100, CEP 90001-970. Porto Alegre (RS).
cimelio.bayer@ufrgs.br.

⁵Aluna da Agronomia – UDESC. Bolsista do CNPq.

Its limestone necessity was 24 Mg ha⁻¹ to rise to pH until 6.0. The following soil properties were determined: soil bulk density; soil particle density; macroporosity; microporosity; total porosity; penetration resistance; saturated hydraulic conductivity; aggregated stability; organic carbon; water ph; particle size distribution and flocculation degree by four layers of 0.05 m each, until the depth of 0.20 m. The incorporated limestone corrected soil acidity in the layer of 0-0.10 m, while the superficial limestone with integral rate corrected the layer of 0.0-0.05 m. Soil revolving with plowing and disk harrowing to incorporate limestone was beneficial to soil quality, reducing bulk density, microporosity, penetration resistance and increasing total porosity, macroporosity and flocculation degree. However, this soil preparation system also promoted loss of soil quality because it decreased the aggregate stability and the organic carbon content. The limestone rates, increased soil pH but did not modify soil physical properties.

KEY WORDS: acidity correction methods, no-tillage, soil structure.

INTRODUÇÃO

O manejo do solo compreende as práticas culturais utilizadas em sistemas de produção e deve contribuir para a sustentabilidade da atividade agrícola. O sistema de preparo convencional, ao mobilizar o solo, melhora as condições requeridas para o crescimento e desenvolvimento inicial das culturas, pois elimina plantas daninhas, incorpora os resíduos culturais, aumenta a porosidade e reduz a densidade do solo (RESENDE, 1997). Essas alterações favorecem a aeração e a infiltração de água após o preparo, contudo, com o tempo, aumentam os riscos de erosão (SIDIRAS et al., 1984), reduzem a umidade e o conteúdo de carbono orgânico (SALTON; MIELNICZUK, 1995; COSTA et al., 2004) com prejuízos para a qualidade do solo e nos resultados econômicos da atividade agrícola (LAL; PIERCE, 1991; DORAN; PARKIN, 1994; MIELNICZUK et al., 2000). Para Doran e Parkin (1994), qualidade do solo é a capacidade funcional dos solos dentro de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica,

mantendo a qualidade ambiental e promovendo a sanidade vegetal e animal. Dos sistemas de manejo do solo mais utilizados atualmente, o plantio direto é o que melhor atende esta definição. Este sistema mantém os resíduos vegetais na superfície e preserva as propriedades físicas e químicas do solo. A ampla variação do tamanho de poros encontrada neste sistema permite melhores relações entre drenagem, disponibilidade de água, absorção de nutrientes, desenvolvimento radicular, aeração e temperatura (RESENDE, 1997), os quais contribuem para a obtenção de melhores produtividades.

A melhor estruturação do solo em plantio direto pode ser observada na redução da porcentagem de agregados de menor diâmetro, estando relacionada ao aumento do tempo de cultivo neste sistema (ELTZ et al., 1989; ROTH et al., 1991, CAMPOS et al., 1995; COSTA et al., 2003). Porém, o não revolvimento pode compactar o solo e limitar o crescimento das plantas, pois altera a densidade, a resistência à penetração das raízes, a porosidade de aeração, a água disponível às plantas e o fluxo de água no solo (SCOPEL et al., 1978, SILVA et al., 1986; ALBUQUERQUE et al., 2001; REICHERT et al., 2003).

A principal qualidade em áreas com campo nativo é a estrutura do solo. Alguns agricultores, ao utilizarem estas áreas para produção de grãos, optam pelo sistema de plantio direto, visando manter as boas condições físicas do solo. A calagem é uma prática necessária em solos ácidos e sob campo nativo. Nestas situações, após a aplicação de calcário o comportamento de algumas propriedades físicas do solo, como a dispersão da argila e a estabilidade de agregados podem ser alteradas, dependendo do tipo de solo e sistema de manejo adotado. Jorge et al. (1991), observaram em Latossolo Vermelho, que a calagem aumentou o pH, reduziu o Al trocável mas diminuiu a estabilidade dos agregados. Já, Albuquerque et al. (2003), em um Latossolo Bruno, observaram que a calagem não alterou a estabilidade de agregados, mas aumentou a argila dispersa em água devido ao aumento do potencial elétrico superficial negativo. Costa et al. (2004) não encontraram alterações na argila dispersa em água e na estabilidade de agregados em um Latossolo Bruno sob plantio direto há 21 anos. Segundo os autores, estes

Latossolos Brunos, cuja estabilidade natural dos agregados é alta, a adição de resíduos orgânicos pelas culturas contrabalança o efeito dispersivo do calcário.

Este estudo objetivou avaliar as alterações nas propriedades físicas e químicas de um Cambissolo Húmico com campo nativo, após o cultivo de milho com diferentes métodos de aplicação e doses de calcário.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado num Cambissolo Húmico Alumínico derivado de siltito da formação Rio do Rastro, localizado em Lages (SC), coordenadas 27°44' S e 50°03' W, com altitude média de 850 m, sob clima tipo Cfb segundo Köppen. Na instalação do experimento (aplicação do calcário), o solo apresentava pH em água de 4,4, 60 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 9,5 cmol_c kg⁻¹ de alumínio trocável e necessidade de calcário de 24 Mg ha⁻¹ para elevar o pH até 6,0, correspondente a 1 SMP (SOCIEDADE..., 2004).

Buscando testar os sistemas utilizados pelos agricultores da região, em setembro de 1999 foi realizada a aplicação do calcário na área de campo nativo para posterior cultivo do milho em três métodos:

√ PD 1,0i - calcário incorporado por aração e 2 gradagens nas doses de 0, 0,25, 0,5, 1 e 1,5 da recomendação de 1 SMP, para elevar o pH até 6,0. As doses foram de 0, 6, 12, 24 e 36 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico a PRNT 100% e cultivo de milho sob plantio direto;

√ PD 1,0s - Calcário aplicado em superfície nas mesmas doses e cultivo de milho sob plantio direto;

√ PD 0,3s - Calcário aplicado na superfície nas mesmas doses, mas parceladas em três vezes. As doses corresponderam a 0, 2, 4, 8, e 12 Mg ha⁻¹ de calcário, aplicadas a cada três anos e cultivo de milho sob plantio direto;

Em novembro de 1999, todas as parcelas foram dessecadas com herbicida glifosate e realizou-se a semeadura direta do milho. Nos anos subseqüentes, a área permaneceu em pousio no inverno e nos meses de novembro de cada ano após a dessecação com herbicida, o milho foi semeado diretamente com semeadora de tração mecânica, sem o revolvimento do solo.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas com três repetições. Os métodos de aplicação do calcário foram alocados nas parcelas principais (30 x 4,5 m) e as doses de calcário nas subparcelas (6 x 4,5 m).

Em setembro de 2000, antes do segundo cultivo de milho, uma trincheira com 0,30 m de profundidade foi aberta em cada uma das 3 repetições das subparcelas, abrangendo todos os métodos de aplicação e as doses de calcário, exceto para a dose de 0,25 SMP nos três métodos. Nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m foi medida a resistência do solo à penetração, usando penetrômetro de bolso (BRADFORD, 1986). Nestas camadas, também foram coletadas amostras indeformadas em anéis metálicos com 0,054 m de altura e 0,05 m de diâmetro para a determinação da condutividade hidráulica saturada (KLUTE; DIRKSEN, 1986), da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986), da macro, micro e porosidade total pelo método da mesa de tensão, com sucção de 0,6 m de coluna de água (EMBRAPA, 1997).

Amostras deformadas foram coletadas em março de 2002, nas camadas de 0,0-0,05 m e 0,05-0,10 m para a determinação da estabilidade de agregados em água segundo o método posposto por Kemper e Chepil (1965), sendo os resultados expressos pelo diâmetro médio ponderado (DMP).

Na terra fina seca ao ar (TFSA) foi determinado o conteúdo de carbono orgânico, o pH em água, a densidade de partículas (EMBRAPA, 1997), a distribuição do tamanho das partículas em água e em hidróxido de sódio (NaOH) pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986) e foi calculado o grau de floculação (GF).

Para a análise estatística das variáveis físicas e químicas do solo, os métodos de aplicação de calcário foram considerados como fator principal, as doses de calcário como subparcelas e as camadas de solo nas quais foram coletadas as amostras foram consideradas como sub-subparcelas. A análise dos dados foi realizada através da análise da variância, cujas médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Amostras indeformadas

Houve interação entre métodos de aplicação de calcário e camada amostrada para densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica saturada e dos efeitos isolados do método de aplicação e da camada para resistência a penetração (Tabela 1). Não houve efeito significativo de doses de calcário para as propriedades físicas avaliadas, apenas para o pH do solo. O revolvimento do solo pelo arado e grade para incorporar o calcário no PD 1,0i, reduziu a densidade do solo até os 0,15 m de profundidade em relação a aplicação superficial. Em todos os sistemas, a densidade foi maior nas camadas mais profundas, independente da forma de aplicação do calcário (Figura 1). No sistema de manejo onde o solo foi revolvido (PD 1,0i) foi observada diferença de 35% na camada de 0,0-0,05 m para a camada de 0,15 a 0,20 m. Nos sistemas onde o calcário foi aplicado superficialmente (PD 1,0s e PD 0,3s) esta diferença foi menor (17 % na média).

A máxima densidade do solo foi de 1,30 Mg m⁻³ no PD 1,0s, portanto, não foi observada restrição ao crescimento radicular em nenhum dos tratamentos estudados. Conforme Reichert et al. (2003), para solos com conteúdo de argila de 250 g kg⁻¹, o valor crítico de densidade está entre 1,4 e 1,5 Mg m⁻³.

O revolvimento do solo, para aplicação de calcário na implantação do experimento no sistema PD 1,0i, aumentou o volume de macroporos até a profundidade de 0,20 m em comparação aos demais sistemas com calcário superficial (Tabela 2). Entretanto, houve uma redução de 54% no volume de macroporos na camada superficial (0,0-0,05 m) para a camada de 0,10 a 0,20 m. Por outro lado, nos sistemas PD 0,3s e PD 1,0s, a macroporosidade na camada de 0,05 a 0,15 m diminuiu 30% em relação à camada de 0,0-0,05 m. O revolvimento reduziu em 7% o volume de microporos até 0,05 m de profundidade, mantendo-se estável nas camadas subsequentes. Nos sistemas sem revolvimento, a microporosidade foi maior na camada de 0,0-0,05 m, reduzindo em 10% com a profundidade (0,45 m³ m⁻³).

Tabela 1 - Probabilidade do valor t tabulado (t_{n-1} ; $\alpha=0,05$) ser maior do que o t calculado para aceitar a hipótese nula ($H_0:u=u_0$), para as causas da variação: métodos de aplicação, doses de calcário, camada e suas interações para as variáveis físicas e químicas do Cambissolo Húmico.

Causa da variação	DS ¹	Macro	Micro	PT	KHS	RP	pH água	Arg disp	Arg total	GF	DMP	CO
Me ²	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,11	0,63	0,19	0,05	0,04	0,02
Do	0,61	0,40	0,28	0,65	0,57	0,76	0,01	0,29	0,44	0,31	0,25	0,13
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,67	0,01
Me*Do	0,51	0,63	0,11	0,69	0,96	0,37	0,86	0,68	0,65	0,29	0,42	0,18
Me*Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,25	0,01	0,57	0,01	0,01	0,20	0,01
Do*Ca	0,35	0,11	0,27	0,62	0,18	0,78	0,01	0,19	0,98	0,19	0,23	0,04
Me*Do*Ca	0,62	0,13	0,82	0,18	0,41	0,69	0,08	0,45	0,98	0,32	0,39	0,25

¹DS = densidade do solo; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; PT = porosidade total; KHS = condutividade hidráulica saturada; RP = resistência à penetração; AD = argila dispersa em água; AT = argila total; GF = grau de floculação; DMP = diâmetro médio ponderado e; CO = carbono orgânico total.

²Me = Método; Do = Dose e; Ca = Camada.

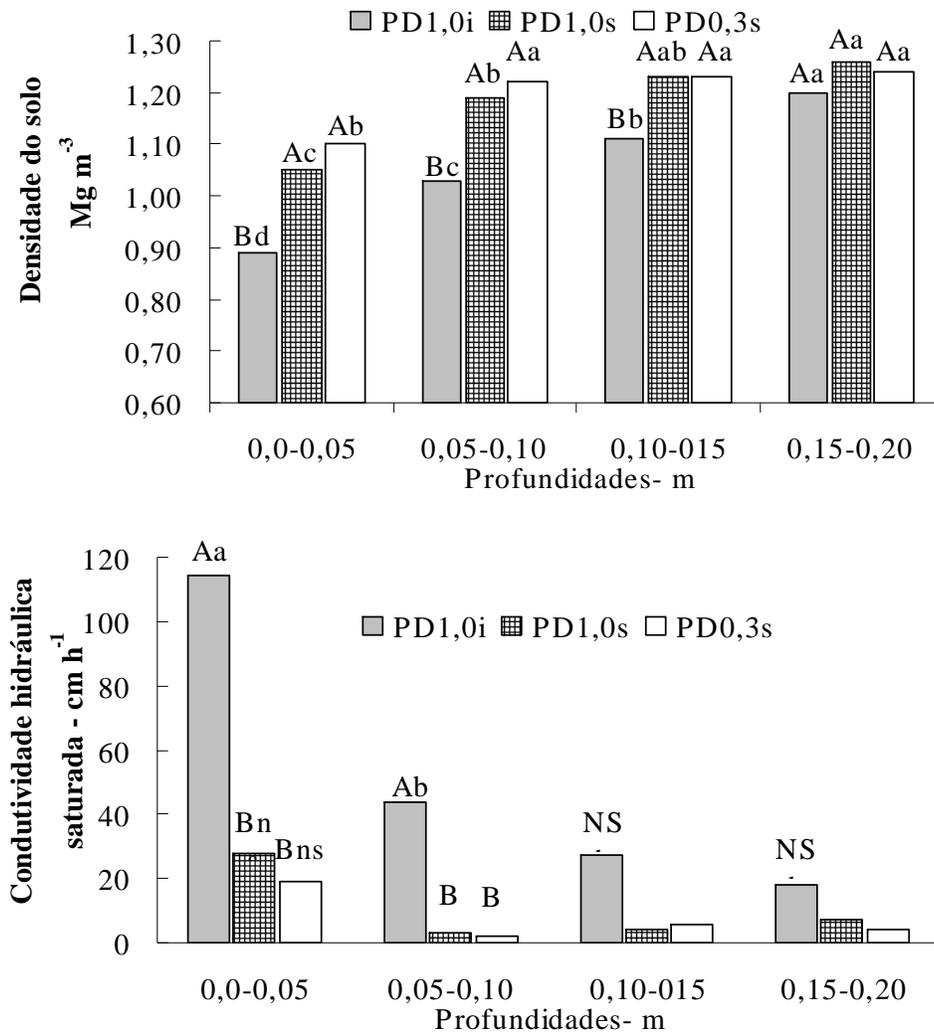


Figura 1 - Densidade do solo e condutividade hidráulica saturada do solo de um Cambissolo Húmico submetido a diferentes métodos de aplicação e doses de calcário. Métodos de aplicação com a mesma letra maiúscula não diferem entre si (Tukey, $p < 0,05$) na mesma camada de solo. Camadas de solo com a mesma letra minúscula não diferem entre si em cada método de aplicação.

A porosidade total reduziu com a profundidade em todos os métodos de aplicação (Tabela 2) e foi maior no sistema que incorporou o calcário. A redução da camada de 0,0-0,05 m para a camada de 0,15-0,20 m foi de 16% no PD 1,0i e 12% no PD 0,3s e PD 1,0s. Esta variação na macro e microporosidade tem relação com a aeração do solo, infiltração e retenção de água no perfil e nos casos de compactação severa, altera a distribuição radicular no perfil (MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999).

Resultados sobre o efeito do manejo na porosidade do solo são distintos. Machado e Brum (1978), num Latossolo Vermelho em Santo

Ângelo (RS), observaram aumento da densidade e microporosidade e redução da porosidade total e macroporosidade no preparo convencional em relação ao plantio direto. Eltz et al. (1989), num Latossolo Bruno em Guarapuava (PR), e Albuquerque et al. (1995), num Latossolo Vermelho (RS), não observaram diferenças entre o plantio direto e o preparo convencional para a densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade. Já, Secco et al. (1997), num Latossolo Vermelho, observaram maior densidade e menor macroporosidade e porosidade total no sistema de plantio direto em comparação ao preparo

Tabela 2 - Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração de um Cambissolo Húmico submetido a diferentes métodos de aplicação e doses de calcário. Lages, SC, 2002.

Método	Camadas – m								Média
	0,0-0,05		0,05-0,10		0,10-0,15		0,15-0,20		
$m^3 m^{-3}$									
Macroporosidade									
PD 1,0i	0,26	A a*	0,18	A b	0,12	A c	0,12	A c	0,17
PD 0,3s	0,10	B a	0,07	B b	0,07	B b	0,08	B ab	0,08
PD 1,0s	0,11	B a	0,07	B b	0,08	B b	0,09	B ab	0,09
Médias	0,16		0,11		0,09		0,10		
Microporosidade									
PD 1,0i	0,42	C c	0,45	B ab	0,46	NS a	0,44	NS b	0,44
PD 0,3s	0,51	A a	0,49	A b	0,47	b	0,45	c	0,48
PD 1,0s	0,49	B a	0,47	A b	0,47	bc	0,45	c	0,47
Médias	0,47		0,47		0,47		0,44		
Porosidade Total									
PD 1,0i	0,67	A a	0,62	A b	0,58	A c	0,56	A d	0,61
PD 0,3s	0,61	B a	0,56	B b	0,54	B bc	0,53	B c	0,56
PD 1,0s	0,60	B a	0,54	B b	0,55	B b	0,54	AB b	0,56
Médias	0,63		0,57		0,56		0,54		
Resistência à penetração									
$kg cm^{-2}$									
PD 1,0i	0,5		0,9		1,3		1,8		1,1 B
PD 0,3s	1,0		1,6		1,8		2,2		1,7 A
PD 1,0s	1,1		1,7		1,8		2,1		1,7 A
Médias	0,9	d	1,4	c	1,6	b	2,0	a	

* Letras maiúsculas nas colunas comparam o efeito dos métodos de aplicação e minúsculas nas linhas comparam o efeito das camadas (Tukey, $p < 0,05$).

convencional. Diferenças dos resultados observados em cada experimento, podem estar relacionadas ao tipo de solo, no entanto, devem-se, possivelmente, às particularidades de cada sistema de manejo, tais como, quantidade de cobertura por resíduos vegetais, controle de tráfego, peso das máquinas agrícolas e umidade do solo no momento das operações.

A maior densidade em profundidade influenciou a resistência do solo à penetração, indistintamente do método de aplicação de calcário (Tabela 2), aumentando em $1,1 kg cm^{-2}$ (ou 122%) da camada de 0,0-0,05 m para a camada de 0,15-0,20 m. O revolvimento do solo no PD 1,0i reduziu em 36% a resistência do solo à penetração em relação ao

PD 0,3s e PD 1,0s. A resistência foi superior a $2,0 kg cm^{-2}$ na camada de 0,15–0,20 m nos dois sistemas em que o calcário foi aplicado na superfície, podendo assim, restringir o crescimento das raízes, principalmente, em períodos de menor umidade do solo.

A condutividade hidráulica saturada foi maior até os 0,10 m no sistema PD 1,0i em relação aos demais sistemas. A condutividade hidráulica saturada diminuiu de $114 para 18 cm h^{-1}$ com a profundidade no sistema PD 1,0s e permaneceu constante nos demais sistemas (Figura 1). Esta redução pode estar associada aos macroporos, principais condutores de água no fluxo saturado (BOUMA, 1991), conforme

constatado também por Albuquerque et al. (1995) num Latossolo Vermelho.

Amostras deformadas

Para pH em água, argila total, grau de floculação e carbono orgânico houve interação entre métodos de aplicação e camada e para pH em água e carbono orgânico houve interação entre doses de calcário e camada. Para argila dispersa em água houve efeito da camada e para estabilidade dos agregados (DMP) houve o efeito do método de aplicação de calcário (Tabela 1).

Avaliando-se a interação método*camada, observa-se que a incorporação do calcário corrigiu uniformemente a acidez, sendo que no PD 1,0i não houve diferença no pH entre as camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m (Tabela 3). No entanto, nos sistemas em que o calcário foi aplicado na superfície, o comportamento foi distinto, já que o pH da camada de 0,0-0,05 m foi superior ao da camada de 0,05-0,10 m (28% no PD 0,3s e 24% no PD 1,0s), evidenciando a baixa mobilidade do calcário, sendo que as avaliações foram realizadas após 30 meses de sua aplicação. Este gradiente do pH pode alterar as propriedades físicas do solo quando a dose aplicada na superfície for elevada.

Tabela 3 - pH e teores de carbono orgânico (g kg^{-1}) de um Cambissolo Húmico submetido a diferentes métodos de aplicação e doses de calcário. Lages, SC, 2002.

pH			
	Camada - m		
	0,0-0,05	0,05-0,10	
Métodos			
PD 1,0i	5,4 B a*	5,2 A a	
PD 0,3s	5,4 B a	4,2 C b	
PD 1,0s	5,7 A a	4,6 B b	
Carbono Orgânico			
Método	Camada - m		
	0,0-0,05	0,05-0,10	
PD 1,0i	25 B a	24 NS a	
PD 0,3s	31 A a	23 b	
PD 1,0s	31 A a	24 b	

* Letras maiúsculas nas colunas comparam o efeito dos métodos de aplicação e das doses em cada camada e minúsculas nas linhas comparam o efeito das camadas em cada método de aplicação e dose (Tukey, $p < 0,05$).

Devido à grande quantidade de calcário aplicado na superfície, o pH na camada 0,0-0,05 m foi maior 6% no PD 1,0s em relação ao PD 0,3s e ao PD 1,0i. O mesmo não ocorreu na camada de 0,05-0,10 m, pois no PD 1,0i o pH foi 13% e 24% maior em relação ao PD 1,0s e PD 0,3s, respectivamente. Isto ocorreu devido à incorporação do calcário.

Quando foi analisada a interação doses*camadas observou-se que nas duas camadas houve um aumento do pH com a dose aplicada. Na camada de 0,0-0,05 m, as diferenças entre as doses foram maiores, aumentando em 2,3 unidades de pH ou 56%, da dose 0 SMP para a dose 1,5 SMP, enquanto na camada de 0,05-0,10 m, este aumento de pH foi de 1,2 unidades de pH ou 30%. A adição de calcário na superfície fez com que o pH da camada de 0,0-0,05 m fosse maior do que na camada de 0,05-0,10 m (Figura 2). Assim sendo, a correção da acidez do solo mostrou-se proporcional à dose de calcário aplicada independentemente do modo de aplicação. Isto está de acordo com os resultados obtidos por Rheinheimer et al. (2000), que avaliaram a calagem superficial e incorporada em um Argissolo Acinzentado e concluíram que em sistemas sem mobilização do solo é necessário criar uma frente de alcalinização para elevar o pH de camadas inferiores.

O teor de argila dispersa em água foi 24% menor na camada de 0,0-0,05 m, em relação à camada de 0,05-0,10 m; entretanto, não foi alterado pelos métodos de aplicação e doses de calcário (Figura 3). Esta diferença pode estar relacionada a fatores, como: o conteúdo de matéria orgânica, cátions trocáveis, ciclos de umedecimento e secagem, atividade biológica, especialmente de raízes, alguns destes favorecendo a floculação da argila.

A argila total foi 21% maior no PD 1,0i na camada de 0,0-0,05 m em relação ao PD 0,3s e PD 1,0s, conforme se observa na Figura 3. Na camada de 0,05-0,10 m não houve diferença entre métodos de aplicação, com conteúdo médio de 242 g kg^{-1} . Nos PDs com calcário superficial, o teor de argila foi 20% menor na camada de 0,0-0,05 m em relação à camada de 0,05-0,10 m, enquanto no PD 1,0i não houve diferença entre as camadas. Esses resultados podem estar relacionados ao efeito floculante/agregante do carbono orgânico, em maior

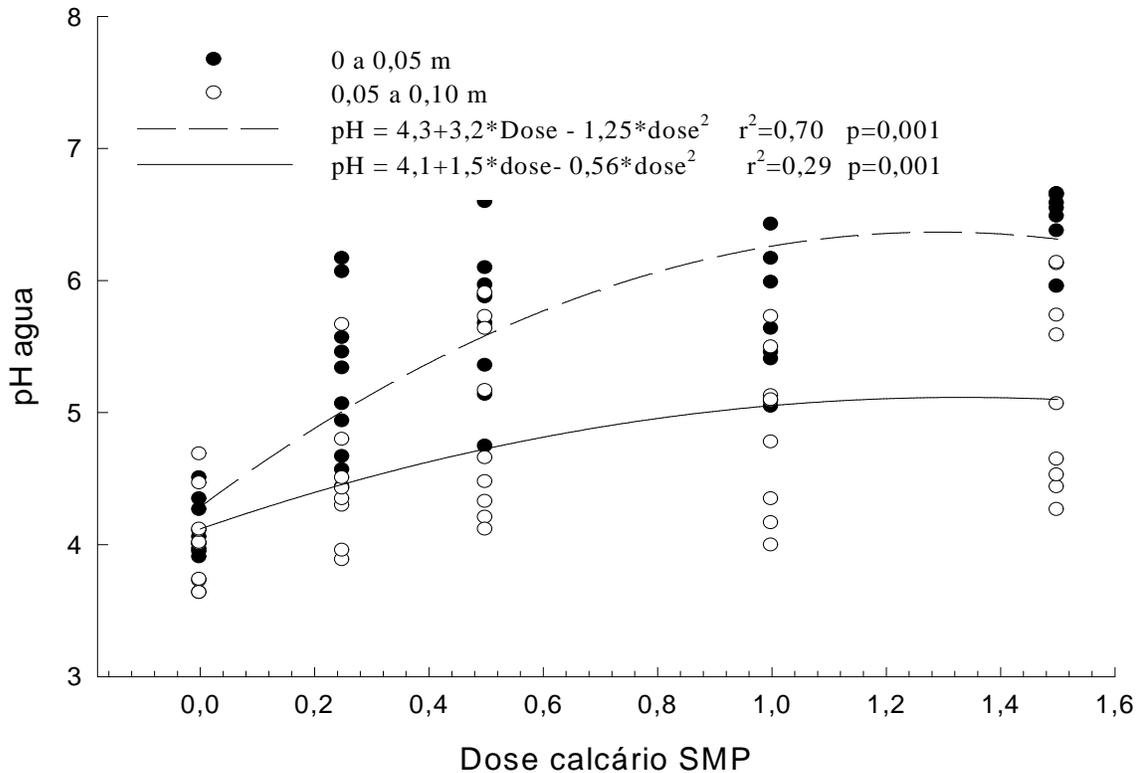


Figura 2 - pH em água do Cambissolo Húmico influenciado pelas doses de calcário e camada avaliada. Lages, SC, 2002.

quantidade na superfície nos sistemas sem mobilização, o qual reduz a dispersão da argila mesmo com a utilização de dispersante químico no método de análise padrão, conforme constatado por Costa (2001) em um Latossolo Bruno.

A diferença observada nos conteúdos de argila dispersa em água e total, alterou o grau de floculação entre os métodos de aplicação (Figura 3). Na camada de 0,0-0,05 m, o grau de floculação foi menor nos tratamentos que receberam calcário superficialmente, diminuindo 18% do PD 1,0i para o PD 1,0s e 30% no PD 0,3s. No PD 1,0i, o pH foi de 5,4, os cátions divalentes e a matéria orgânica da superfície do solo parecem ter sido distribuídos uniformemente na camada mobilizada. Estas alterações podem ter estimulado a atividade biológica e a geração de substâncias com poder para flocular os colóides do solo. Enquanto isto, no PD 1,0s e PD 0,3s, o calcário aplicado na superfície do solo pode elevar o pH e

dispersar a argila, resultado semelhante ao observado por Albuquerque et al. (2003) em um Latossolo Bruno sob doses de calcário incorporado. No PD 1,0i, o grau de floculação diminuiu 25% com o aumento da profundidade, enquanto que nos PDs não houveram diferenças. Na camada de 0,05-0,10 m, não houve diferenças no grau de floculação. É importante dar uma atenção especial ao grau de floculação, pois o ideal é que a argila estivesse totalmente floculada, e os percentuais encontrados variaram de 40 a 57%, ou seja, metade da argila estava dispersa.

O diâmetro médio ponderado dos agregados variou em até 4 mm com os métodos de aplicação do calcário (Figura 4). O revolvimento do solo para incorporação do calcário reduziu a estabilidade dos agregados em relação à aplicação superficial e embora transcorridos 30 meses do revolvimento, o solo não recuperou sua condição estrutural. Apesar

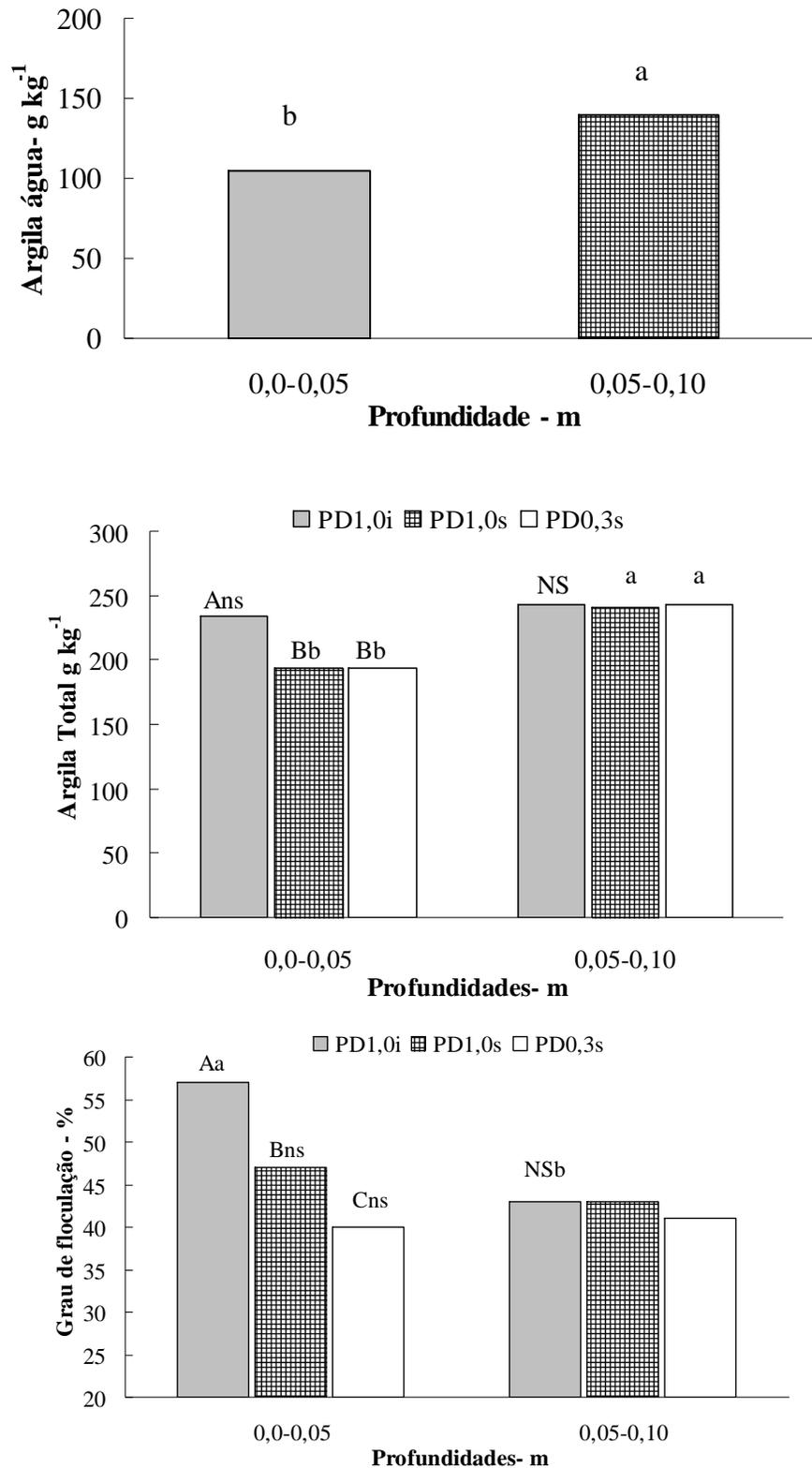


Figura 3 - Argila dispersa em água, argila total e grau de floculação influenciado pelos métodos de aplicação e doses de calcário em um Cambissolo Húmico, Lages, SC, 2002. Letras maiúsculas comparam métodos de aplicação em cada camada e letras minúsculas comparam o efeito simples da camada e da interação camada x método de aplicação (Tukey, $p < 0,05$).

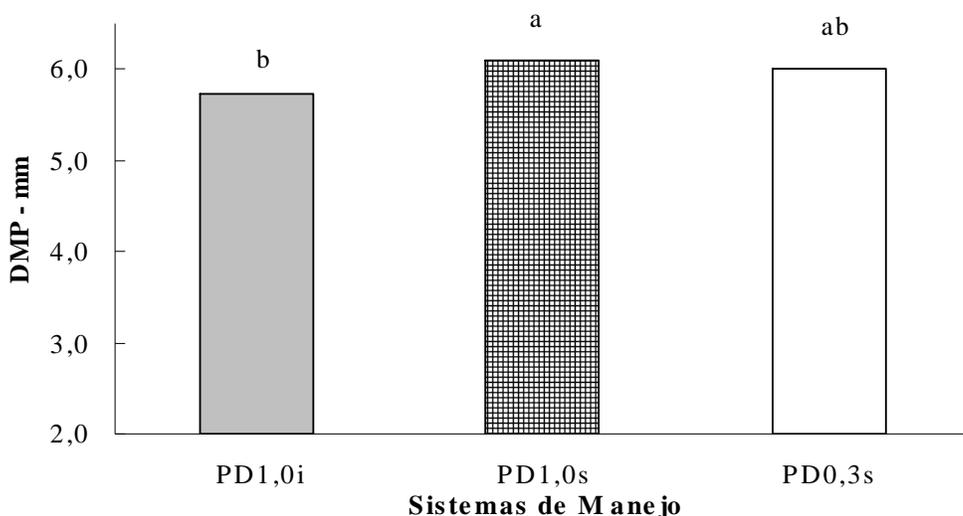


Figura 4 - Diâmetro Médio Ponderado do solo de um Cambissolo Húmico submetido a diferentes métodos de aplicação e doses de calcário; na média das camadas. Lages, SC, 2002. Letras maiúsculas comparam os métodos de aplicação (Tukey, $p < 0,05$).

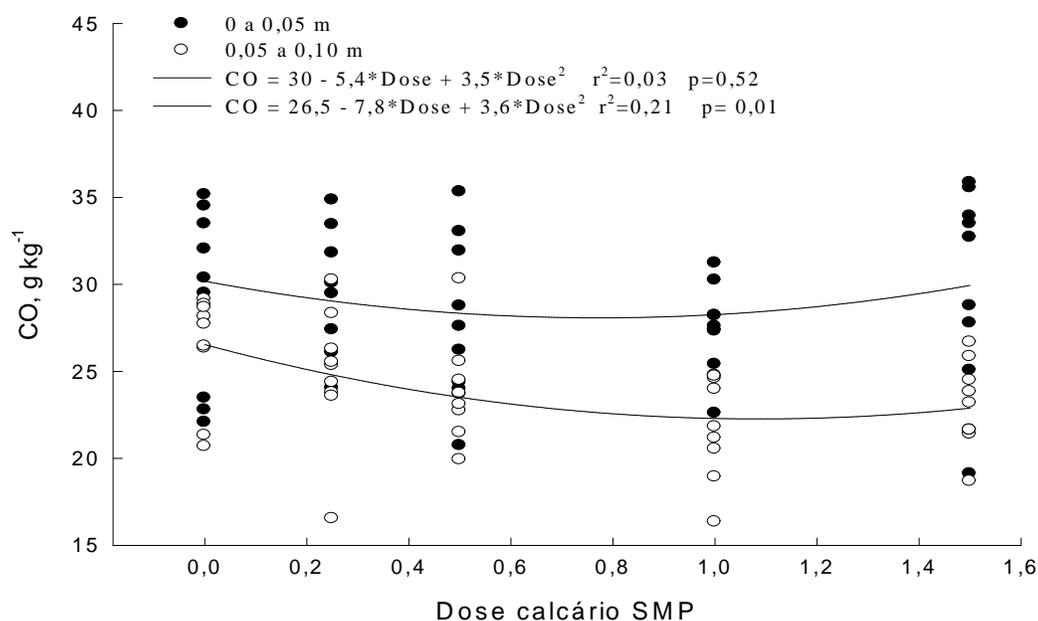


Figura 5 - Carbono orgânico do Cambissolo Húmico influenciado pelas doses de calcário e camada avaliada. Lages, SC, 2002.

desta redução, o solo apresentou elevada estabilidade dos agregados decorrente, provavelmente, do alto teor de matéria orgânica. Eltz et al. (1989) num Latossolo Bruno, Campos et al. (1995) e Castro Filho et al. (1998) em Latossolo Vermelho, Marcolan e Anghinoni (2006) em Argissolo Vermelho, também encontraram maior estabilidade de agregados em sistema de plantio direto, sendo a preservação ou aumento da matéria orgânica e o não revolvimento do solo os principais responsáveis por isto.

A ação mecânica dos implementos reduz a estabilidade dos agregados pelo revolvimento do solo e indiretamente por acelerar a decomposição da matéria orgânica. Entretanto, no sistema de plantio direto, em solos onde a acidez é elevada como do Cambissolo avaliado, a incorporação do calcário pode favorecer o desenvolvimento das culturas, principalmente nos primeiros anos. Já, em solos onde a incorporação pode ser evitada, a qualidade da estrutura é preservada, principalmente, em solos com

estrutura naturalmente fraca.

O teor de carbono orgânico no solo foi aproximadamente 6 g kg^{-1} maior na camada de 0,0-0,05 m nos sistemas PD 0,3s e PD 1,0s em relação ao PD 1,0i (Tabela 3). O revolvimento do solo incorpora o material orgânico, aumenta a atividade dos microrganismos e reduz o conteúdo de carbono orgânico. Na camada de 0,05-0,10 m não houve diferença entre os métodos de aplicação, com média de 24 g kg^{-1} . A manutenção dos estoques de carbono orgânico em sistemas conservacionistas em comparação ao convencional, foi relatada por Machado e Brum (1978) e Campos et al. (1995) em Latossolo Vermelho, por Bayer et al. (2000) num Argissolo Vermelho e por Costa (2001) em um Latossolo Bruno.

Observou-se que o conteúdo de carbono orgânico foi maior na camada de 0,0-0,05 m em relação à de 0,05-0,10 m. Na camada de 0,05 a 0,10 m o conteúdo de CO diminuiu com o aumento do pH (Figura 5). Conforme já havia sido relatado por Albuquerque et al. (2003) em um Latossolo Bruno, provavelmente, isto ocorre devido à maior atividade dos microrganismos. Entretanto, esta maior taxa de decomposição pode, em longo prazo, ser contrabalançada pelo maior aporte de resíduos orgânicos nas áreas calcariadas.

CONCLUSÕES

A incorporação do calcário corrigiu a acidez do solo na camada de 0,0-0,10 m, enquanto a aplicação superficial com dose integral corrigiu apenas na camada de 0,0-0,05 m. O aumento do pH foi dependente da dose aplicada.

Neste Cambissolo, o revolvimento com lavração e gradagem foi benéfico para a qualidade do solo, evidenciado pela redução da densidade, da resistência à penetração e aumento da porosidade total, da macroporosidade e do grau de floculação, havendo, entretanto prejuízos à estabilidade dos agregados e ao conteúdo de carbono quando comparado com a aplicação superficial.

Neste Cambissolo Húmico, a mobilização do solo para implantar sistemas de cultivo é necessária, considerando que o pH do solo não corrigido é extremamente ácido. Além disso, os prejuízos à

qualidade do solo foram a redução da estabilidade dos agregados e do conteúdo de carbono, mas estes valores permaneceram elevados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq pela concessão de bolsas de Iniciação Científica e de Produtividade em Pesquisa para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p. 115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 717-723, 2001.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 799-806, 2003.
- BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Tillage Resources**, Amsterdam, v. 53, p. 101-109, 2000.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. Agron.*, San Diego, 46, p. 1-37, 1991.
- BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 463-478.
- CAMPOS, B.C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 121-126, 1995.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI,

- A.L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, 2004.
- COSTA, F.S. **Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimento de longa duração**. 2001, 98p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2001.
- COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.
- COSTA, F.S. et al. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 281-284, 2004.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W. et al. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21 Special Publication n. 35,.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASPER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 259-267, 1989.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 1991. v. 15, p. 237-240.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. et al. (eds.) **Methods of soil analysis**. Part 1, Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.
- KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 687-734.
- LAL R.; PIERCE, F.J.. The vanishing resource. In: LAL R. ; PIERCE, F.J. (eds.) **Soil management for sustainability**. Ankeny: **Soil Water Conservation Society**, 1991. p. 1-5.
- MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 81-84, 1978.
- MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 163-170, 2006.
- MEROTTO J.R.A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 197-202, 1999.
- MIELNICZUK, J.; RHEINHEIMER, D.S.; VEZZANI, F.M. **Interações fertilidade e conservação do solo**. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, 2000. CD ROM.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 29-48. 2003.
- RESENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Palestras...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.
- RHEINHEIMER, D.S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem Natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000.
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO C. de; MEDEIROS G.B. Análise de fatores físicos e químicos relaciona

dos com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 15, p. 241-248, 1991.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de manejo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS).

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 19, p. 313-319, 1995.

SCOPEL, I.; COGO, P.; KLAMT, E. Infiltração da água em solos do litoral norte do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 170-175, 1978.

SECCO, D. et al. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, p. 57-60, 1997.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 91-95, 1986.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R.; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 265-268, 1984.