

# **RELAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO COM A AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB SISTEMAS DE PREPARO E PLANTAS DE VERÃO PARA COBERTURA DO SOLO<sup>(1)</sup>**

**Jackson Adriano Albuquerque<sup>(2)</sup>, Jeferson Argenton<sup>(3)</sup>, Cimélio Bayer<sup>(4)</sup>, Leandro do Prado Wildner<sup>(5)</sup> & Márcio Aleksander Granzotto Kuntze<sup>(6)</sup>**

## **RESUMO**

**O preparo de solo e as espécies vegetais que compõem o sistema de rotação de culturas têm expressivo efeito na qualidade física do solo, principalmente na estabilidade de agregados. Neste estudo, objetivou-se avaliar a estabilidade dos agregados de um solo cultivado com preparo reduzido (PR) e preparo convencional (PC) com utilização de plantas de cobertura. Dois experimentos foram efetuados em Chapecó (SC), num Latossolo Vermelho distroférico em PR (1993-1998) e PC (1994-1998), nos quais foram avaliados cinco sistemas de cultura: milho + guandu anão; milho + mucuna cinza; milho + feijão-de-porco; milho + soja preta e milho isolado. O uso do solo degradou suas propriedades físicas, comparativamente ao sistema com mata nativa, reduziu o teor de C orgânico (CO) e a estabilidade dos agregados. As plantas de cobertura de verão aumentaram o teor de CO; entretanto, não modificaram o grau de floculação de argila e a estabilidade de agregados, quando comparadas às do sistema milho isolado. A recuperação de solos degradados por meio do uso de plantas de cobertura foi mais efetiva quando estas foram associadas ao preparo reduzido, evidenciando a importância de sistemas de manejo com baixo revolvimento e alto aporte de resíduos vegetais para aumentar o CO do solo.**

**Termos de indexação: manejo de solo, plantas de cobertura do solo, floculação da argila, qualidade física.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Recebido para publicação em julho de 2003 e aprovado em abril de 2005.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). Pesquisador do CNPq. E-mail: a2ja@cav.udesc.br

<sup>(3)</sup> Mestre em Ciência do Solo, UDESC. E-mail: jargenton@fischerfraburgo.com.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Caixa Postal 15100, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Pesquisador do CNPq. E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

<sup>(5)</sup> Pesquisador do Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar - EPAGRI. Caixa Postal 791, CEP 89901-970 Chapecó (SC). E-mail: lpwild@epagri.rct-sc.br

<sup>(6)</sup> Graduando do Curso de Agronomia, UDESC.

**SUMMARY:** *RELATIONSHIP OF SOIL ATTRIBUTES WITH AGGREGATE STABILITY OF A HAPLUDOX UNDER DISTINCT TILLAGE SYSTEMS AND SUMMER COVER CROPS*

*Tillage and plant species that compose the soil management and crop rotation systems have a pronounced effect on soil physical quality, especially on aggregate stability. This study aimed to evaluate the degree of aggregate stability of a soil cultivated under reduced tillage (RT) and conventional tillage (CT) using distinct summer cover crops. Two experiments were carried out in Chapecó, State of Santa Catarina, Brazil on a Hapludox under RT (1993-1998) and CT (1994-1998). Five crop systems were evaluated in each tillage system: maize + *Cajanus cajan* (pigeon pea), maize + *Stilozobium niveum* (mucuna), maize + *Canavalia ensiformis* (jack bean), maize + *Glycine sp* (black soybean), and single maize. Compared to the native forest, cultivation degraded the soil physical properties. It reduced the aggregate stability and organic carbon concentration. The summer cover crops increased the organic carbon concentration, but had no effect on the degree of clay flocculation and aggregate stability. Soil recovery by cover crops was more effective when using reduced tillage, evidencing the importance of management systems of low soil mobilization and high input of plant residues to increase organic carbon.*

*Index terms: soil management, cover crops, clay flocculation, soil physical quality.*

## INTRODUÇÃO

O solo sob vegetação nativa encontra-se, normalmente, em melhor estado de agregação e com teor estável de matéria orgânica. Sua utilização para fins agrícolas, com a introdução das práticas de cultivo, altera as propriedades físicas, químicas e biológicas desse solo, principalmente o teor da matéria orgânica, a atividade e população microbiana e a estabilidade estrutural (Campos et al., 1995).

O revolvimento do solo, em muitos casos necessário por causa da compactação, elimina as plantas espontâneas e rearranja as partículas do solo, resultando numa maior aeração e infiltração de água logo após o preparo e nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento das culturas, principalmente em solos compactados. No entanto, reduz a estabilidade de agregados, principalmente dos macroagregados (Alvarenga et al., 1986), o que é mais evidente em solos arenosos (Albuquerque et al., 1996), aumentando os riscos à erosão hídrica (Sidiras et al., 1984).

Por sua vez, sistemas de preparo que revolvem menos o solo e acumulam resíduos culturais na superfície preservam sua estrutura e retêm mais água na camada superficial (Sidiras et al., 1984), principalmente pelo aumento da matéria orgânica e da microporosidade (Castro Filho et al., 1998). Por esse motivo, processos como a infiltração e a evaporação de água do solo também são alterados (Sidiras et al., 1984; Hillel, 1998).

Em Latossolo Vermelho distrófico, Oliveira et al. (2004) observaram que a estabilidade de agregados

no sistema Cerrado foi reduzida pelo preparo convencional, enquanto o plantio direto recuperou parte da estabilidade perdida pelo preparo intensivo, possivelmente, pelo maior teor de CO. Entretanto, dado o menor revolvimento, esses sistemas podem aumentar a densidade do solo na camada superficial (Albuquerque et al., 2001), embora este comportamento nem sempre seja observado (Albuquerque et al., 1995; Costa et al., 2003; Oliveira et al., 2003).

Em sistemas conservacionistas de manejo de solo, o uso de plantas de cobertura apresenta-se como uma prática básica, pois protege a superfície contra os agentes erosivos (Schick et al., 2000), adiciona ao solo C fotossintetizado e N fixado biologicamente (Amado & Mielniczuk, 2000), recicla nutrientes e melhora a estabilidade da estrutura (Alvarenga et al., 1986), além de destacar o efeito físico das raízes sobre a formação e manutenção dos agregados do solo (Tisdall & Oades, 1982; Munner & Oades, 1989; Silva & Mielniczuk, 1997; Silva et al., 1998). Nos sistemas de manejo que utilizam plantas de cobertura, as gramíneas perenes apresentam ação agregante mais prolongada do que as leguminosas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Paladini & Mielniczuk, 1991; Silva et al., 1998), graças à presença de um sistema radicular fasciculado, mais denso, com maior contato com as partículas do solo. Segundo Borges et al. (1994), porém, as leguminosas anuais de inverno têm um efeito em curto prazo mais efetivo do que as gramíneas, pois apresentam uma relação C/N baixa, favorável à rápida decomposição microbiana.

Este estudo objetivou avaliar a estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho distroférico

cultivado com preparo reduzido e convencional com utilização de plantas de cobertura.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI - em Chapecó (SC), em um Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso, derivado de basalto, com 65 g kg<sup>-1</sup> de areia, 265 de silte e 670 de argila. A declividade média do local é de 0,10 m m<sup>-1</sup>. A fração argila é composta por caulinita e, em menor teor, por hematita e goethita (Argenton, 2000). O clima da região é do tipo mesotérmico úmido com verão quente (Cfa) (Santa Catarina, 1986). A precipitação pluvial anual é de 2.039 mm, variando de 183 mm em janeiro a 148 mm em agosto. A temperatura média anual é de 18,1 °C, variando mensalmente de 14,1 a 23,0 °C.

Foram realizados dois experimentos, ambos adjacentes a uma mata nativa, a qual se considerou como condição original do solo. Antes da instalação dos experimentos, as áreas foram cultivadas com preparo convencional (PC) durante 25 anos, porém com culturas e adubações diferentes. O experimento I, instalado em 1993, foi realizado no sistema de preparo reduzido (PR), com abertura de sulcos para semeadura do milho com arado estreito (0,1 m) de fabricação artesanal. O experimento II, instalado em 1994, foi realizado no sistema de PC, com uma aração e duas gradagens. As parcelas no PR foram de 5 x 24 m e no PC 6 x 24 m. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições.

Cada experimento consistiu de cinco sistemas de cultura: milho + guandu anão (*Cajanus cajan*, L. cv. roxo anão); milho + mucuna cinza (*Stilozobium niveum*, Kuntze); milho + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*, L.); milho + soja preta (*Glicine sp*) e milho isolado. Durante o inverno, as áreas permaneceram em repouso. O manejo do solo iniciou em junho, após a ocorrência das primeiras geadas, com o manejo mecânico dos resíduos do cultivo anterior por meio de um rolo-faca com tração animal. Em agosto, foi realizada a dessecação no sistema PR e, em setembro, a aração e gradagem no PC. A adubação de manutenção com N, P e K foi feita a lanço, com uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio nas doses recomendadas pela CFS-RS/SC (1995) para expectativa de rendimento de 3 a 6 t ha<sup>-1</sup> de milho.

A semeadura do milho, cultivar Cargil 701, foi realizada na primeira quinzena de outubro, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e população de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As plantas de cobertura intercalares, com uma linha de leguminosa por entre

linha de milho, nas densidades recomendadas para cada espécie (Monegat, 1996), foram semeadas 15 dias após a emergência do milho, com exceção da mucuna cinza, semeada 45 dias após a emergência do milho, dado seu rápido desenvolvimento inicial e hábito de crescimento trepador. As ervas espontâneas foram controladas com capinas manuais. As plantas de milho foram dobradas no estágio de maturação fisiológica para favorecer a entrada de luz e o desenvolvimento das leguminosas.

Em junho de 1999, foram coletadas amostras de solo, na entrelinha da cultura do milho e na mata nativa, nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,1 m. Foram determinados os teores de CO, Ca, Mg, K e Al trocáveis, pH em água e em KCl (Tedesco et al., 1995) e calculado o delta pH ( $\Delta$ pH) (Mekaru & Uehara, 1972). Determinou-se o ponto de efeito salino nulo (PESN), por meio de titulação potenciométrica (Embrapa, 1997), em amostras compostas pelas três repetições, da mata nativa e nos preparos do solo, nos sistemas de maior aporte, milho mais mucuna cinza, e de menor aporte, milho isolado. Os teores de argila, silte e areia na TFSA foram determinadas pelo método da pipeta, usando-se água e NaOH como dispersantes (Gee & Bauder, 1986) e o grau de floculação da argila foi calculado.

A análise mineralógica foi realizada para a profundidade de 0–0,1 m seguindo o preparo das amostras o método descrito por Whittig & Allardice (1986). Foram separadas as frações areia (53–2.000  $\mu$ m), silte (2–53  $\mu$ m) e argila (< 2  $\mu$ m), sendo a argila saturada por K, Mg e Mg mais glicerol à temperatura ambiente. A análise por difratometria de raios X (DRX) foi feita em lâminas da fração argila orientada e no pó das frações silte e areia. Foi utilizado um equipamento Philips, com radiação de Cu-K $\alpha$  e monocromador de grafite (Kunze & Dixon, 1986). As lâminas de argila saturadas com K, após serem analisadas, foram aquecidas na mufla a 100, 350 e 500 °C, obtendo-se os difratogramas após cada aquecimento.

Na fração areia, predominou quartzo, com presença de ilmenita e hematita. Na fração silte, além dos mineirais presentes na areia, observou-se pequena quantidade de goethita e magnetita/maghemita. Na fração argila, predominou caulinita e, em menor teor, mineral 2:1 com polímeros de Al nas entrecamadas, hematita e goethita.

Para determinar a estabilidade dos agregados, amostras de solo, após serem destorroadas e tamisadas, para obter a classe de agregados entre 4,76 e 8,35 mm, foram agitadas em água, com três repetições de laboratório, utilizando peneiras com malhas de 4,76, 2,0, 1,0 e 0,21 mm, bem como calculado seu diâmetro médio ponderado (DMP), pelo método de Kemper & Chepil (1965).

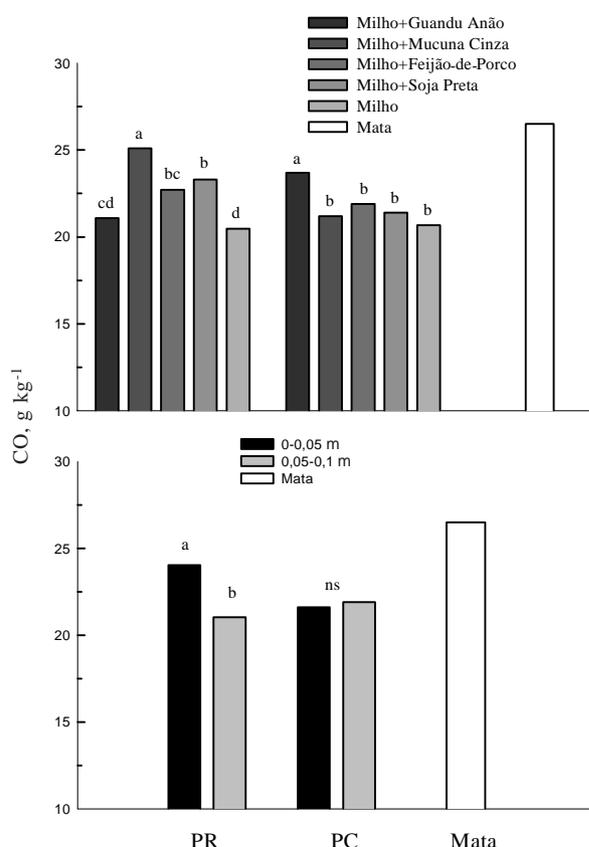
A análise estatística consistiu da análise da variância, para o modelo experimental de blocos ao

acaso com parcelas subdivididas, com culturas nas parcelas principais e profundidades nas subparcelas. A comparação entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Duncan a 5 %. A relação entre as variáveis foi testada pela significância dos coeficientes de regressões lineares (SAS, 1990).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Carbono orgânico do solo

O CO foi influenciado pelos fatores: cultura e profundidade, no preparo reduzido, e cultura, no preparo convencional (Quadro 2). O teor de CO do solo na média das duas profundidades na mata nativa foi 18 % superior ao da média dos sistemas de cultura do PR e 21 % superior ao do PC (Figura 1), provavelmente pelo grande aporte de resíduos orgânicos, não-revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica na mata nativa.



**Figura 1.** Teor médio de carbono orgânico do solo (CO) na camada de 0-0,1 m de profundidade nos sistemas de cultura com preparo reduzido (PR) e convencional (PC) e na mata nativa. Para comparar as profundidades (0-0,05 e 0,05-0,1 m), foi calculada a média dos cinco sistemas de culturas em cada sistema de preparo. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa (Duncan a 5 %).

Foi observado acúmulo de CO na camada de 0-0,05 m do solo em PR e não no PC (Figura 1), visto que, naquele sistema, o revolvimento e a conseqüente incorporação ao solo dos resíduos ocorrem apenas na linha de semeadura, enquanto no PC toda a camada de solo foi revolvida nas operações de preparo, incorporando os resíduos vegetais e acelerando sua decomposição. No PR, o sistema com mucuna cinza apresentou o maior teor de CO (Figura 1), seguido pelos sistemas feijão-de-porco e soja preta, enquanto, no sistema milho sem planta de cobertura, o teor de CO foi menor. No PC, apenas o sistema com guandu anão aumentou o teor de CO. Neste mesmo experimento, Spagnollo et al. (2002) observaram que o aporte de massa seca foi, respectivamente, para os sistemas de PR e PC, de 5,48 e 5,01 t ha<sup>-1</sup>, para o guandu anão; 4,99 e 4,29, para mucuna cinza; 1,51 e 2,83, para o feijão-de-porco, e 1,35 e 1,26 t ha<sup>-1</sup>, para a soja preta. Portanto, as diferenças observadas nos teores de CO estão também relacionadas com os aportes de cada sistema de cultura, conforme observado por Bayer & Mielniczuk (1997) em Argissolo Vermelho.

Somadas as diferenças no aporte de matéria orgânica, Bayer et al. (2000) observaram em um Argissolo Vermelho que o preparo convencional apresentou taxa de perda anual de matéria orgânica de 0,054 ano<sup>-1</sup>, enquanto, no preparo reduzido, foi de 0,039 ano<sup>-1</sup>, ou seja, uma redução na perda de matéria orgânica da ordem de 28 % no preparo reduzido. Os autores ressaltaram que estas taxas são dependentes da textura e mineralogia do solo, condições climáticas e da intensidade do processo erosivo. Portanto, ao longo do tempo, o acúmulo de matéria orgânica no PR comparado ao PC será maior, refletindo, assim, em outros atributos do solo.

### Cátions trocáveis, acidez ativa e ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo

As características químicas foram distintas entre os sistemas PR e PC, principalmente com relação ao pH (Quadro 1), com valores médios de pH em água de 5,6 em PR e 6,5 em PC e do pH em KCl de 4,3 em PR e 5,1 em PC. O sistema em PR apresentou uma unidade menor de pH do que no PC, o que reflete o diferente histórico de adubações e correções da acidez nas áreas experimentais. No PC, o pH do solo refletiu os teores mais elevados de Ca e Mg trocáveis, soma de bases, capacidade de troca efetiva de cátions e menor Al trocável (Quadro 1).

Na mata, o PESN foi de 4,0 e, apesar de o manejo alterar o teor de CO (Figura 1), o PESN não foi alterado pelos sistemas de preparo ou de culturas com maior aporte de resíduos no sistema milho mais mucuna cinza, ou menor no milho isolado. Os valores de PESN foram semelhantes aos verificados por Albuquerque et al. (2000), num Latossolo Bruno aluminoso de Santa Catarina (3,8), e dentro dos

**Quadro 1. Teores de Ca, Mg, Al e K trocáveis, CTC efetiva, soma de bases (SB), pH em água, pH em KCl, ponto de efeito salino nulo (PESN) e ΔpH na camada de 0–0,1 m do Latossolo Vermelho distroférrico, nos sistemas de cultura<sup>(1)</sup> com preparo reduzido, convencional e na mata nativa**

Sistema de cultura	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	CTC	SB	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	PESN	ΔpH
cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>										
Preparo reduzido										
Milho + guandu anão	4,4	2,3	0,5	0,82	8,0	7,5	5,3	4,2	nd	-1,1
Milho + mucuna cinza	5,2	2,7	0,4	0,90	9,2	8,8	5,5	4,3	4,0	-1,2
Milho + feijão-de-porco	4,9	2,7	0,4	0,77	8,8	8,4	5,6	4,3	nd	-1,3
Milho + soja preta	5,3	3,1	0,3	0,73	9,4	9,1	5,8	4,4	nd	-1,4
Milho	4,7	2,6	0,4	0,68	8,4	8,0	5,7	4,3	4,1	-1,4
Média	4,9	2,7	0,4	0,78	8,8	8,4	5,6	4,3	4,05	-1,3
Preparo convencional										
Milho + guandu anão	6,2	4,8	0,2	0,75	11,9	11,7	6,2	5,0	nd	-1,2
Milho + mucuna cinza	6,9	5,6	0,2	0,72	13,4	13,2	6,5	5,1	4,0	-1,4
Milho + feijão-de-porco	6,5	5,2	0,1	0,81	12,7	12,5	6,6	5,1	nd	-1,5
Milho + soja preta	6,3	5,3	0,1	0,61	12,3	12,2	6,7	5,1	nd	-1,6
Milho	5,7	5,0	0,1	0,71	11,5	11,4	6,7	5,1	4,0	-1,6
Média	6,3	5,2	0,2	0,72	12,4	12,2	6,5	5,1	4,0	-1,4
Mata nativa										
	3,8	2,5	1,0	0,2	7,5	6,5	5,3	4,1	4,0	-1,2

<sup>(1)</sup> Os sistemas de cultura são compostos de milho + guandu anão, milho + mucuna cinza, milho + feijão-de-porco, milho + soja preta, milho isolado. nd = não determinado.

limites citados por Magalhães & Page (1984), em Latossolos do Brasil Central (entre 3,6 e 4,6). Os valores negativos de delta pH (Quadro 1) indicam que o solo apresenta carga líquida negativa em todos os sistemas de uso e manejo. Geralmente, quanto maior for a diferença entre o PESN e o pH do solo, maior a tendência de prevalecerem as forças de repulsão sobre as de aproximação das partículas, resultando em menor grau de floculação.

### Grau de floculação

O grau de floculação foi influenciado pela cultura intercalar e profundidade em ambos os experimentos (Quadro 2). Na média das duas profundidades, o grau de floculação (GF) da argila no solo sob mata nativa (585 g kg<sup>-1</sup>) foi semelhante ao da média do PR (600 g kg<sup>-1</sup>) e 7,3 % superior ao da média do PC (547 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 2). Isso pode ser resultante da semelhança do ponto de efeito salino nulo (PESN) entre a mata e o PR e, ao maior pH e conseqüentemente, delta pH no PC (Quadro 1), o que aumenta a repulsão e favorece a dispersão das partículas. Em solos de carga variável e com baixo PESN, como o solo em questão, com a elevação do pH, aumentam a carga líquida negativa e a espessura da dupla camada difusa, favorecendo a dispersão da argila, conforme constatado também por Albuquerque et al. (2000) em um Latossolo Bruno. Segundo Morelli & Ferreira (1987), esta maior dispersão pode ser amenizada pelos efeitos benéficos

ao sistema, proporcionados pela redução do Al tóxico às plantas com conseqüente aumento no aporte de resíduos orgânicos.

Em ambos os sistemas de preparo, a introdução das plantas de cobertura alterou o teor de CO do solo (Figura 1), mas não o grau de floculação da argila, quando comparado ao sistema com milho isolado (Figura 2). Observando os dois experimentos, o comportamento das culturas não seguiu o mesmo padrão, ou seja, enquanto no PR o maior grau de floculação foi observado no sistema milho mais feijão-de-porco, no PC foi observado no sistema milho mais soja preta.

No PR e PC, observou-se maior GF na camada de 0–0,05 m, comparada com a de 0,05 a 0,1 m, provavelmente pela ação conjunta da matéria orgânica, atividade microbiana, sistema radicular e concentração de cátions trocáveis, bem como pela ação dos ciclos de umedecimento e secagem. Kemper et al. (1987) afirmaram que, com a secagem, os íons e colóides migram de locais de maior energia para locais de menor energia da solução, aumentando a força de ligação entre partículas.

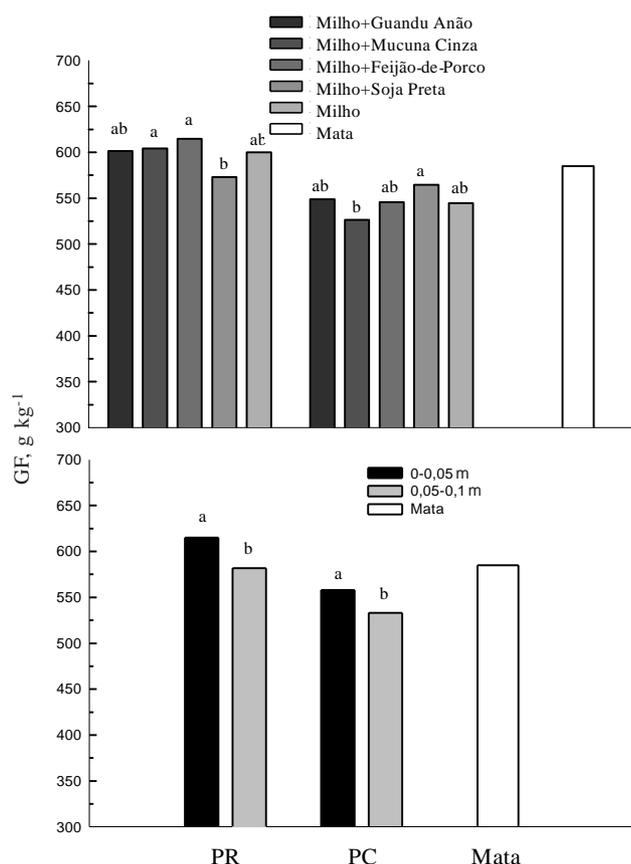
### Estabilidade de agregados do solo

Após cinco anos de utilização do PR, a estabilidade de agregados (3,09 mm) foi semelhante à do PC (3,34 mm), diferente do esperado aumento quando se utilizaram sistemas conservacionistas de preparo.

**Quadro 2. Probabilidade de o valor t tabulado ( $t_{n-1}$ ;  $\alpha = 0,05$ ) ser maior do que t calculado para aceitar a hipótese nula ( $H_0: u = u_0$ ), para as causas da variação: bloco; cultura, profundidade e interação cultura x profundidade para as propriedades físicas do Latossolo Vermelho sob preparo reduzido (PR) e convencional (PC)**

Causa de variação	PR			PC		
	CO <sup>(1)</sup>	GF	DMP	CO	GF	DMP
Bloco	0,03	0,03	0,24	0,72	0,02	0,45
Cultura	0,01	0,05	0,60	0,01	0,05	0,15
Profundidade	0,01	0,01	0,61	0,48	0,01	0,01
Cultura * Profundidade	0,37	0,55	0,89	0,67	0,71	0,74
CV (%)	6,5	3,7	20,1	5,0	3,6	12,7

<sup>(1)</sup> CO = carbono orgânico; GF = grau de floculação e DMP = diâmetro médio ponderado.



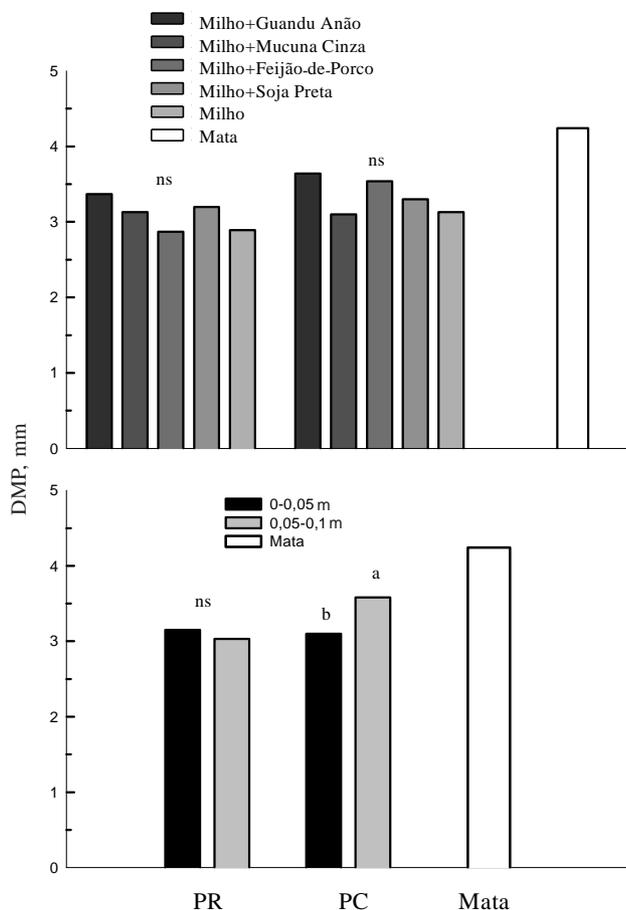
**Figura 2. Valor médio do grau de floculação (GF), na camada de 0–0,1 m, nos sistemas de cultura com preparo reduzido (PR) e convencional (PC) e na mata nativa. Para comparar as profundidades (0–0,05 e 0,05–0,1 m), foi calculada a média dos cinco sistemas de culturas em cada sistema de preparo. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa (Duncan a 5 %).**

Também não foi alterada pelas culturas utilizadas intercalares ao milho. No PR, o DMP foi semelhante entre as culturas, variando de 2,87 mm, no sistema com feijão-de-porco, a 3,37 mm, no sistema com

guandu anão e no PC variou de 3,10 mm, no sistema com mucuna cinza, a 3,64 mm, no sistema com guandu anão.

Houve maior estabilidade de agregados na camada de 0,05–0,1 m comparada à camada de 0–0,05 m no PC, o que, segundo Carpenedo & Mielniczuk (1990), pode estar relacionado com a maior coesão dos macroagregados proporcionada pela aproximação das partículas em operações de preparo, considerados agregados de menor qualidade, ou pelo efeito negativo de ciclos intensos de secagem e umedecimento, enfraquecendo as ligações entre partículas na camada de 0–0,05 cm. É importante ressaltar que o grau de floculação no PC foi maior na camada de 0–0,05 m. Portanto, os processos envolvidos na floculação de partículas e na estabilização de macroagregados podem ser diferentes, ou seja, o que beneficia o GF pode não beneficiar a estabilidade de agregados.

Na camada de 0–0,1 m, a estabilidade de agregados no solo sob mata nativa foi alta (4,24 mm), não tendo o PR (3,09 mm) recuperado esta propriedade do solo que havia sido degradada pelo PC (3,34 mm) em relação à mata (Figura 3). A não-recuperação da estabilidade dos agregados no sistema PR no presente estudo pode estar relacionada com o curto período de utilização dos diferentes sistemas de manejo e com a alta estabilidade estrutural deste solo, que, além de argiloso, apresenta minerais com cargas negativas permanentes e dependentes do pH, de matéria orgânica com cargas negativas dependentes do pH e de óxidos de Fe com predomínio de cargas positivas dependentes do pH. Nessas condições, as alterações na estabilidade dos agregados foram de pequena magnitude, ao contrário do que foi observado em solos arenosos e com baixo teor de óxidos (Albuquerque et al., 1996). Verificou-se que, na mata e no campo nativo, atuam, com maior intensidade, moléculas orgânicas transitórias, hifas de fungos, mucilagens e raízes (Tisdall & Oades, 1982), importantes agentes relacionados com a gênese dos agregados.



**Figura 3. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo, na camada de 0-0,1 m de profundidade, nos sistemas de cultura com preparo reduzido (PR) e convencional (PC) e na mata nativa. Para comparar as profundidades (0-0,05 e 0,05-0,1 m), foi calculada a média dos cinco sistemas de culturas em cada sistema de preparo. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa (Duncan a 5 %).**

De modo geral, a estabilidade de agregados em sistemas conservacionistas mostrou-se maior do que no preparo convencional. Em Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, Campos et al. (1995) observaram um aumento do DMG de 1,2 mm, em PC, para 2,0 mm após sete anos de uso do sistema plantio direto. Por sua vez, Silva et al. (1998) em Goiás, num Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, verificaram uma variação no DMG dos agregados de 1,4 mm em PC com guandu a 4,4 mm em solo sob cerrado nativo. Castro Filho et al. (1998), num Latossolo Vermelho distroférico em Londrina (PR), comparando diferentes sistemas de rotação de culturas em plantio direto e preparo convencional, num experimento com 14 anos de duração, observaram maior estabilidade dos agregados, quando foi utilizado plantio direto e nas sucessões de culturas que incluíram espécies com relação C/N

mais alta (milho). Costa et al. (2003) em Latossolo Bruno em Guarapuava (PR), observaram aumento do DMG na camada de 0-0,05 m de 1,6 no PC para 3,7 mm no PD após 21 anos de instalação do experimento.

Comparando a vegetação nativa de Cerrado com o uso do solo no sistema plantio direto e preparo convencional em um Latossolo Vermelho, Mendes et al. (2003) observaram maior estabilidade de agregados no Cerrado do que no PD, sendo o PC o sistema com menor estabilidade de agregados. Observaram que o teor de matéria orgânica e do C prontamente mineralizável nos macroagregados foi maior do que nos microagregados nos sistemas Cerrado e PD, enquanto no PC não houve diferenças. Isto comprova que no PC ocorre a oxidação da matéria orgânica, principalmente dos macroagregados com redução de sua estabilidade.

Quando analisados todos os dados conjuntamente, foram observadas correlações entre o CO com o DMP dos agregados ( $r = 0,43$ ;  $p < 0,01$ ) (Quadro 3), pelo fato de a matéria orgânica atuar como um agente de agregação temporário, principalmente de macroagregados (Tisdall & Oades, 1982). Carpenedo & Mielniczuk (1990) também encontraram correlação positiva entre DMP e matéria orgânica em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso ( $r = 0,80$ ) e num Latossolo Vermelho aluminoférico argiloso ( $r = 0,69$ ) e Campos et al. (1995) num Latossolo Vermelho distrófico ( $r = 0,85$ ) após sete anos comparando sistemas de preparo do solo.

Neste estudo, a obtenção do coeficiente de correlação baixo, comparativamente à literatura, pode indicar a existência de outros fatores inerentes aos sistemas de culturas ou ao solo, atuando sobre a agregação.

O pH em água não apresentou correlação com o DMP (Quadro 3); entretanto, apresentou correlação negativa com o GF ( $r = -0,64$ ;  $p < 0,01$ ). Com a elevação do pH aumentaram os teores de Ca e Mg trocáveis, a CTC efetiva e a soma de bases, os quais também apresentaram correlação negativa com o GF ( $r = -0,60$  para Ca e  $r = -0,66$  para Mg;  $p < 0,01$ ). Provavelmente, o que determinou a correlação foi o aumento do pH, relacionado com o aumento das cargas negativas com conseqüente repulsão entre partículas e dispersão de argila. Por outro lado, o Al trocável apresentou correlação positiva e significativa com o GF ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,01$ ) e com o DMP ( $r = 0,31$ ,  $p < 0,01$ ), provavelmente em virtude da formação de pontes de cátions entre as partículas minerais e orgânicas, elevando a estabilidade de agregados e reduzindo a dispersão da argila. Estas constatações também foram observadas por Albuquerque et al. (2000) em um Latossolo Bruno submetido a doses crescentes de calcário.

Em magnitude variável com o tipo de solo e condições climáticas, sistemas de manejo que adicionam grandes quantidades de resíduos vegetais

**Quadro 3. Coeficientes de correlação (r) e probabilidade (p) entre atributos químicos e físicos do Latossolo Vermelho sob sistema de preparo reduzido e preparo convencional**

		GF	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	ΔpH	DMP	Ca	Mg	Al	K	CTC ef	SB
CO <sup>(1)</sup>	r	0,14	-0,41	-0,45	0,43	-0,19	-0,28	0,33	-0,03	-0,22	-0,24
	p	0,26	0,01	0,01	0,01	0,14	0,02	0,01	0,78	0,08	0,05
GF	r		-0,64	-0,37	-0,20	-0,60	-0,66	0,46	0,08	-0,63	-0,63
	p		0,01	0,01	0,11	0,01	0,01	0,01	0,54	0,01	0,01
pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	r			0,69	-0,10	0,82	0,94	-0,70	0,11	0,89	0,89
	p			0,01	0,42	0,01	0,01	0,01	0,37	0,01	0,01
ΔpH	r				-0,10	0,37	0,49	-0,34	-0,22	0,41	0,42
	p				0,43	0,01	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01
DMP	r					-0,15	-0,03	0,31	-0,35	-0,09	-0,12
	p					0,23	0,78	0,01	0,01	0,49	0,34
Ca	r						0,89	-0,81	0,40	0,97	0,98
	p						0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	r							-0,66	0,13	0,97	0,96
	p							0,01	0,29	0,01	0,01
Al	r								-0,49	-0,71	-0,77
	p								0,01	0,01	0,01
K	r									0,32	0,35
	p									0,01	0,01
CTC ef	r										0,99
	p										0,01

<sup>(1)</sup> CO = carbono orgânico; GF = grau de floculação; pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = pH em água; ΔpH = Delta pH; DMP = diâmetro médio ponderado; Ca, Mg, Al e K trocáveis; CTC ef = CTC efetiva e; SB = soma de bases.

ao solo e determinam uma baixa intensidade de revolvimento aumentam o teor de CO, a CTC e a estabilidade de agregados (Tisdall & Oades, 1982; Paladini & Mielniczuk, 1991; Campos et al., 1995; Debarba & Amado, 1997; Costa et al., 2003), sendo importante para aumentar a resistência do solo à erosão e recuperar sua qualidade física, química e biológica, proporcionando condições necessárias para obtenção de adequada produtividade dos cultivos. Por outro lado, o revolvimento do solo expõe a matéria orgânica que estava protegida no interior dos agregados, favorecendo sua oxidação com consequente redução do seu teor, da CTC e da estabilidade de agregados. Geralmente, o sistema de manejo do solo que mais degrada as características físicas é o preparo convencional e o que menos degrada é o plantio direto, enquanto o preparo reduzido apresenta comportamento intermediário, conforme constatado por Costa (2001), em Latossolo Bruno do Paraná, e por Lima et al. (2003), em um Planossolo do Rio Grande do Sul.

### CONCLUSÕES

1. O uso do solo degradou suas propriedades físicas, comparativamente ao sistema com mata nativa.

2. As plantas de cobertura de verão aumentaram o teor de CO, mas não modificaram a estabilidade dos agregados e o grau de floculação. Em períodos mais longos, as plantas de cobertura, associadas aos preparos conservacionistas, pelo aumento do CO, podem melhorar as características físicas do solo.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes e ao CNPq, pela concessão de bolsas de estudo, e à EPAGRI e UDESC, pelo apoio institucional para a realização deste estudo.

### LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 20:151-157, 1996.

- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. & FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 24:295-300, 2000.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.
- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A. & RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada de milho. R. Bras. Ci. Solo, 10:273-277, 1986.
- AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:553-560, 2000.
- ARGENTON, J. Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura do milho. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2000. 97p. (Tese de Mestrado)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. R. Bras. Ci. Solo, 24:599-607, 2000.
- BORGES, D.F.; REINERT, D.J.; CAMPOS, B.C.; FUCKS, L.F.M.; NICOLODI, R. & BOENI, M. Recuperação da agregação pelo uso de leguminosas e gramíneas em solos Podzólicos Vermelho-Amarelo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., Florianópolis, 1994. Resumos. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.428.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 14:99-105, 1990.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. R. Bras. Ci. Solo, 22:527-538, 1998.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS-RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional/ Embrapa-CNPT, 1995. 128p.
- COSTA, F.S. Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo em experimento de longa duração. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Tese de Mestrado)
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo, 27:527-535, 2003.
- DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. R. Bras. Ci. Solo, 21:473-480, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço de Produção de Informação, 1997. 212p.
- GEE, G.W. & BAUDER, J. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.383-412.
- HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego, Academic Press, 1998. 771p.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. & DEXTER, A.R. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperature. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:860-867, 1987.
- KUNZE, G.W. & DIXON, J.B. Pretreatment for mineralogical analysis. In: KLUTE, A. ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.91-99.
- LIMA, C.L.F.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 27:199-205, 2003.
- MAGALHÃES, A.F. & PAGE, A.L. Características das cargas elétricas dos solos da Zona da Mata de Pernambuco. I - Determinação das cargas de superfície. R. Bras. Ci. Solo, 8:173-177, 1984.
- MEKARU, T. & UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:296-300, 1972.
- MENDES, I.C.; SOUZA, L.V.; RESCK, D.V.S. & GOMES, A.C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 27:435-443, 2003.
- MONEGAT, C. Plantas de cobertura de solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, Edição do autor, 1996. 337p.
- MORELLI, M. & FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. R. Bras. Ci. Solo, 11:1-6, 1987.
- MUNNER, M. & OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanics and models. Aus. J. Soil Res., 27:411-423, 1989.
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S. & CURTI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:327-336, 2004.
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição do tamanho dos agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 15:135-140, 1991.

- SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173p.
- SAS INSTITUTE. STAT Procedures Guide for Personal Computers. Version 6. 3.ed. Cary, 1990. 705p.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I- Perdas de solo e água. R. Bras. Ci. Solo, 24:427-436, 2000.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. & ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo, 8:265-268, 1984.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 21:313-319, 1997.
- SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S. M. & CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. R. Agropec. Bras., 33:97-103, 1998.
- SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. & MENDONÇA, M.M. Leguminosas estivais intercalares ao milho como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 26:417-423, 2002.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci., 33:141-163, 1982.
- WHITTIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.331-362.