



**Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob tipos de manejo de solo e rotação de culturas**

***Constrictive physical attributes of a dystrophic Red Latosol under soil tillage and crops rotation systems***

**Silvio Tulio Spera<sup>1</sup>, Pedro Alexandre Varella Escosteguy<sup>2</sup>, Vilson Antônio Klein<sup>2</sup>, José Eloir Denardin<sup>3</sup>, Henrique Pereira dos Santos<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Embrapa Agrossilvipastoril. Caixa Postal 343, Sinop, MT, CEP 78550-003.

E-mail: silvio.spera@embrapa.br.

<sup>2</sup>Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo – UPF. Passo Fundo, RS.

<sup>3</sup>Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Recebido em: 12/05/2011

Aceito em: 21/10/2011

**Resumo.** O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes tipos de manejo de solo e das rotações de culturas nos atributos físicos restritivos de duas camadas de solo na produção vegetal de culturas de grãos. O experimento foi conduzido em Passo Fundo (RS), em um Latossolo Vermelho distrófico, com 22 anos de cultivo. Os tratamentos consistiram em três tipos de manejo de solo e três rotações de culturas. Foram avaliados o rendimento de grão, a massa seca da parte aérea das culturas e os atributos físicos densidade, porosidade, resistência mecânica do solo à penetração, argila dispersa em água, condutividade hidráulica do solo saturado e água disponível no solo pelo intervalo hídrico ótimo (IHO), em duas camadas de solo (0 a 6,7 e 6,8 a 15 cm). O efeito dos manejos de solo e das rotações de culturas não influenciou nos atributos físicos do solo, porém estes mostraram valores em grau restritivo ao desenvolvimento das culturas. Os tipos de manejo de solo e culturas avaliados podem ter influenciado o rendimento de grão das culturas de trigo e de sorgo, além da massa da parte aérea dessas culturas e a da soja. Em todos os tratamentos, os resultados dos atributos físicos indicaram haver uma camada (0 a 6,7 cm) não compactada e outra (6,8 a 20 cm) compactada. Na camada de 0 a 6,7 cm, as diferenças dos atributos físicos entre os tratamentos não foram significativas, exceto para a resistência mecânica do solo à penetração nas tensões de 300 e 500 kPa. Na camada de 6,8 a 20 cm, o plantio direto propiciou valor zero do IHO, que é considerado restritivo ao desenvolvimento de plantas.

**Palavras-chave.** Plantio direto, compactação, intervalo hídrico ótimo, resistência à penetração.

**Abstract.** The objective of this paper was to evaluate the effects of different soil tillage and crop rotation systems in the restrictive physical attributes and plant production of grain crops of two layers of soil. The experiment was carried out in Passo Fundo, RS, Brazil, a dystrophic Red Latosol, after more than two decades without application of limestone. Treatments tested were three soil tillage and three crop rotations, to assess the effect on grain yield and dry mass of shoots of crops. The effect of these treatments on the soil physical attributes (soil bulk density, soil porosities, natural clay, soil mechanical resistance and saturated soil hydraulic conductivity) was also measured by the soil layers analyzed. The interaction between management of soil and crop rotation influenced the yield of grain crops of wheat and sorghum, in addition to the mass of air part and soybean crop. Soil physical attributes were not influenced by the interaction of factors studied, being little influenced by crop rotation. In all treatments, physical attributes results indicated a layer (0 to 6.7 cm) not compacted and another (6.8 to 20 cm) compacted. In the 0 to 6.7 cm layer, the differences of physical attributes were not important between the treatments. In the compacted layer, the no-till has zero value for least limiting water range thus being considered restrictive to the development of plants.

**Keywords.** Least limiting water range, No-tillage, soil compaction, soil resistance to penetration.



## **Introdução**

Os Latossolos Vermelhos, principais solos agrícolas da região do Planalto do Rio Grande do Sul, começaram a ser revolvidos por implementos de preparo há mais de 50 anos (Streck et al., 2008). Há cerca de duas décadas, quase que a totalidade da área ocupada por estes Latossolos foi submetida a uma mudança no tipo de manejo de solo, que passou a ser sem revolvimento (plantio direto). Esta mudança de manejo de solo causou alterações nos atributos físicos, em razão das diferenças nas ações mecânicas peculiares de cada tipo de manejo (Bertol et al., 2004; Suzuki & Alves, 2004). Assim, os solos, manejados com plantio direto deixaram de ser revolvidos na profundidade da camada cultivada (0 a 20 cm), havendo mobilização apenas na linha de semeadura.

O manejo do solo com cultivo mínimo com escarificador de hastes também não promove revolvimento da camada de 0 a 20 cm. Assim, relevantes alterações nos atributos físicos destes solos têm sido observadas com o passar dos anos de uso sob sistemas conservacionistas. Algumas alterações foram relatadas por Spera et al. (2009), entre outros autores, que observaram aumento da densidade do solo e redução na porosidade da camada de 10 a 15 cm em parcelas de Latossolo Vermelho manejado com plantio direto. Entretanto, apesar de os solos manejados com plantio direto estarem sendo apontados como os que possuem as mais marcantes restrições nos atributos físicos, os rendimentos de grão de culturas de verão nestes solos, em muitos trabalhos, não têm sido menores que os das parcelas manejadas com preparo convencional mediante revolvimento com arados e grades (Spera et al., 2004; Spera et al., 2006; Albuquerque et al., 2001).

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de tipos de manejo de solo e de rotações de culturas em atributos físicos restritivos para a produção vegetal de culturas, em duas camadas de um Latossolo Vermelho distrófico, situadas entre 0 e 20 cm.

## **Material e Métodos**

Foram avaliadas amostras de solos de um experimento realizado em Passo Fundo, RS (28°15' S; 52°24' W e altitude de 687 m). O experimento, implantado em 1985, foi conduzido em um Latossolo Vermelho distrófico, durante 22 anos, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Antes da implantação do experimento, o

solo foi corrigido com a aplicação de fertilizantes e calcário e o teor de matéria orgânica correspondia, na camada de 0 a 20 cm, a 34 g dm<sup>-3</sup> e a textura 532 g kg<sup>-1</sup> de argila, 192 g kg<sup>-1</sup> de silte e 256 g kg<sup>-1</sup> de areias, respectivamente (Spera, 2009). Os tratamentos consistiram em três tipos de manejo de solo: plantio direto (PD); preparo mínimo do solo com escarificador de hastes (PM) e; revolvimento com arado e grade, uma vez ao ano, antecedendo a cultura de inverno (PC).

Em subparcelas foram testadas as rotações de culturas: trigo/soja (R1), trigo/soja e ervilhaca/sorgo (R2) e, trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja (R3). Amostras deformadas e não deformadas foram coletadas nas camadas de 0 a 6,7 e 6,8 a 20 cm, em junho de 2007, para análises físicas. A espessura das camadas avaliadas foi definida em função da profundidade de ação do mecanismo de corte das semeadoras usadas na região de Passo Fundo, RS. Amostras de solo também foram coletadas em fragmento de floresta subtropical ao lado do experimento, sendo assumidas como testemunha da condição original do solo.

A adubação, a época de semeadura, os espaçamentos entre plantas, os tratamentos fitossanitários e as cultivares utilizadas foram feitas conforme indicações técnicas (CBPA, 2006; Embrapa Clima Temperado, 2006; Emygdio & Teixeira, 2006; Lhamby & Bacaltchuk, 2006).

As análises físicas foram realizadas segundo métodos de Embrapa Solos (1997), incluindo os criptoporos, ou seja, poros de diâmetro menor que 0,0002 mm, assim denominados por Klein (2008). As amostras deformadas foram usadas na determinação da argila dispersa em água. Na avaliação da densidade do solo e classes de porosidade, as amostras não deformadas, coletadas com anéis, foram saturadas e em seguida mantidas em funis com placas porosas, sucessivamente, nas tensões de 1, 3, 6 e 10 kPa, e em câmaras de pressão de Richards nas tensões de 100 e 300 kPa. A umidade na tensão de 1.500 kPa foi avaliada com psicrômetro digital, conforme Klein (2008). A resistência do solo à penetração foi determinada em laboratório, utilizando-se penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA-933. O perfil de resistência foi reconstituído a partir dos valores médios da resistência das amostras com umidade medida nas tensões de 10, 300 e 500 kPa (Klein, 2008).



Determinou-se a condutividade hidráulica do solo saturado com o método do permeâmetro de carga constante, descrito em Klein (2008). Foram usadas amostras coletadas nas camadas de 0 a 7,5 cm e de 10 a 17,5 cm, com anéis de 7,5 cm de altura e 7,0 de diâmetro dimensionado especialmente para o permeâmetro. Calculou-se o fluxo e, com a equação de Darcy-Buckingham, a condutividade hidráulica do solo saturado.

A estimativa da água disponível foi obtida por método indicado em Tormena et al. (1998) que utiliza, além dos valores de tensão da água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, os valores de tensão limitantes da resistência do solo à penetração e da porosidade de aeração, obtendo-se estimativas do Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), que é definido como uma parte da água retida entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), que seria disponível às plantas, sendo um novo conceito de faixa de umidade do solo não limitante introduzido na década de 1980, no Brasil por Tormena et al. (1998). Para o cálculo do IHO, foram inseridas linhas de tendência aos dados experimentais das propriedades, em função densidade do solo, sendo que a umidade na capacidade de campo e a porosidade de aeração foram definidas como limitante na parte úmida do intervalo e a umidade no ponto de murcha permanente e da resistência à penetração limitante na parte seca. Nesse procedimento, foram considerados como valores de umidade na capacidade de campo e de ponto de murcha permanente, os anteriormente citados. Considerou-se como valor de resistência limite do solo à penetração de 2 MPa (Savage et al., 1996) e de porosidade limite de aeração a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Zou et al., 2000). A disponibilidade de água foi avaliada por meio do cálculo gráfico do IHO, em função da profundidade, definida pelos valores de densidade do solo (Klein, 2008).

Foram avaliados o rendimento de grão (RG) e a massa da matéria seca da parte aérea (MS) das culturas de trigo, aveia branca, ervilhaca (2007), soja e sorgo (2007/08). Os resultados foram submetidos à análise de variância e de correlação com o programa CoStat (CoHort, 2009), enquanto que as médias dos valores dos atributos das camadas 0 a 6,7 e 6,8 a 20 cm foram comparadas por teste t pareado, que avalia populações de amostras sem a necessidade de se restringir à aleatoriedade obrigatória do teste F e de médias (Snedecor & Cochran, 1982).

## **Resultados e Discussão**

Em geral, os resultados dos atributos físicos mostraram que não houve interação entre os fatores manejo do solo e rotação de culturas ou efeitos isolados destes nas duas camadas avaliadas. Entretanto, na maioria dos tratamentos, os valores dos atributos físicos variaram entre as camadas de solo.

A densidade do solo variou entre as camadas avaliadas. Isto indicou que houve adensamento da camada subsuperficial em todos os tipos de manejo de solo estudados e, independente do tipo de rotação de culturas. Já os valores de densidade do solo da mata foram menores que os dos solos sob uso agrícola, além de não variar entre as camadas (Tabela 1).

O maior valor de densidade do solo, encontrado entre 6,8 a 20 cm, indica que a camada compactada não foi completamente desfeita pelas hastes do escarificador. Possivelmente esta ferramenta não foi eficiente devido ao maior teor de água do solo no momento da escarificação, já que esta deve ser efetuada quando o solo está seco (Koakoski et al., 2007). A camada compactada também não foi satisfatoriamente desfeita pela aração. Cunha et al. (2009) também constataram que o revolvimento ou a escarificação do solo não reduz a densidade, em comparação ao solo sem revolvimento. Por outro lado, a camada de menor densidade (0 a 6,7 cm) foi alterada pela ação dos discos ou dos facões de corte das semeadoras durante a operação de semeadura, uma vez que estas ferramentas operam até as profundidades entre 6 e 10 cm (Reis et al., 2004). Assim, a menor densidade do solo observada na camada de 0 a 6,7 cm poderia ser resultante, além do maior aporte de resíduos vegetais, da ação das semeadoras, conforme Koakoski et al. (2007).

Os valores médios de porosidade total, de macroporos, de microporos e de criptoporos, nos três tipos de manejo do solo e de rotação de culturas constam na Tabela 1. Estes atributos não diferiram entre os tratamentos testados, dentro de cada camada, mas diferiram entre as duas camadas avaliadas. Os volumes de porosidade total e de macroporos foram maiores na camada de 0 a 6,7 cm, em todos os tratamentos. Os volumes de microporos e criptoporos não diferiram entre as camadas.



Tabela 1. Valores densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, criptoporosidade e argila dispersa em água de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico. Média de três tipos de manejo de solo e de rotações de culturas

Média	Camada, cm				t pareado
	0 – 6,7	CV (%)	6,8 - 20	CV (%)	
<b>Densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>)</b>					
Tratamentos	1,20	8,2	1,36	2,2	*
Mata	0,95	12,5	1,10	3,5	ns
<b>Porosidade total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
Tratamentos	0,549	6,7	0,488	2,3	*
Mata	0,645	5,7	0,587	5,3	*
<b>Macroporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
Tratamentos	0,146	16,6	0,097	9,0	*
Mata	0,275	19,7	0,199	23,2	*
<b>Microporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
Tratamentos	0,165	9,5	0,155	12,2	ns
Mata	0,161	13,3	0,188	16,1	ns
<b>Criptoporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
Tratamentos	0,233	8,1	0,235	2,2	ns
Mata	0,209	8,3	0,203	9,9	ns
<b>Argila dispersa em água (g kg<sup>-1</sup>)</b>					
Tratamentos	141	11,5	168	3,4	*
Mata	111	4,5	95	5,3	*

\*, ns = diferenças entre camadas significativas e não significativas pelo teste t pareado, ao nível de 5 % de probabilidade de erro, respectivamente.

Os resultados de volume de criptoporos concordaram com as observações de Kertzmann (1996), de que estes tipos de poros são intra-agregados, às vezes sem comunicação direta com o sistema de poros (Silva et al., 2005) e que não são desfeitos pelo revolvimento (Silva & Cabeda, 2006). Os volumes de poros totais e macroporos da mata foram superiores aos dos solos sob uso agrícola, enquanto que o volume de criptoporos, na mata, foi inferior.

Não foram encontrados coeficientes fortes de correlação de Pearson entre os valores da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e criptoporosidade. Como o volume de criptoporos não acompanhou o aumento da densidade do solo e, portanto, do volume de sólidos, a estrutura intra-agregados foi pouco alterada. Isto indica que as alterações no volume de micro e macroporos ocorreram entre os agregados e poderiam ser resultantes do rearranjo destes agregados em forma distinta da original em decorrência de operações de manejo e preparo do solo (Viana et al., 2004) e da atividade biológica na camada superficial (Six et al., 2002).

O aumento do volume de criptoporos na

camada subsuperficial indicou que os manejos de solo avaliados favoreceram a compactação do solo, pois a formação de poros de menor diâmetro é propiciada por vários processos de desestruturação e adensamento das camadas. Camargo & Alleoni (1997) relatam que, no processo de compactação, ocorre a transformação de macroporos em microporos, o que se observou no presente trabalho, considerando os valores originais de porosidade da mata, relatados em Spera et al. (2007). Kaiser & Guggenberger (2003), entretanto, atribuem o aumento de poros oclusos, em solos com elevado conteúdo de matéria orgânica, à obstrução das cavidades com dimensões menores que 2 µm com partículas de matéria orgânica. A oclusão destes microporos resulta, segundo os autores, em aumento da retenção de água. No presente trabalho, isso também pode ter ocorrido, pois o volume de água disponível é muito inferior aos volumes extraídos na determinação da porosidade total.

A RP do solo com deficiência hídrica (tensões de 300 kPa e 500 kPa), na camada de 6,8 a 20 cm, foi maior no PD em comparação aos demais tipos de manejo (tensão 300 kPa) e ao PC (tensão 500 kPa).

Na camada de 6,8 a 20 cm, ocorreu, na tensão 500



kPa, um aumento no valor de RP (Tabela 2), indicando a redução no teor de matéria orgânica do solo, verificada por Spera (2009), favoreceu maior RP no solo com deficiência hídrica, conforme foi também observado por Fidalski & Tormena (2007). Os valores de resistência à penetração (RP) constam na Tabela 2, na qual pode se constatar que a RP (em

MPa) na tensão de 10 kPa, não varia entre os tratamentos, variando porém, entre as camadas. Nas tensões de 300 e 500 kPa, a RP não varia entre as rotações de culturas. No PD, varia entre as camadas e, no PM, entre as camadas na tensão de 500 kPa.

**Tabela 2.** Valores de resistência à penetração do solo nas tensões de 10, 300 e 500 kPa de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico. Média de três tipos de manejo de solo e de rotações de culturas

Média	Camada, cm				t pareado
	0 – 6,7	CV (%)	6,8 - 20	CV (%)	
<b>RP na tensão de 10 kPa (MPa)</b>					
Tratamentos	1,41	5,0	2,07	4,7	*
Mata	0,92	15,3	1,05	4,9	ns
<b>RP na tensão de 300 kPa (MPa)</b>					
PD	2,83c	7,8	6,39a	6,2	*
PC	3,15b	5,9	3,98b	6,0	ns
PM	3,50a	5,2	4,00b	5,9	ns
Rotações	3,16	4,4	4,79	12,6	*
Mata	1,29	10,0	1,83	11,6	*
<b>RP na tensão de 500 kPa (MPa)</b>					
PD	4,50c	12,5	13,45a	12,4	*
PC	9,53a	11,1	8,74b	8,4	ns
PM	5,44b	15,1	13,33a	11,8	*
Rotações	6,49	7,0	11,84	14,0	*
Mata	2,52	15,2	3,62	11,8	ns

PD: plantio direto. PC: preparo convencional com arado de discos e grades. PM: preparo mínimo com escarificador de hastes. R1: rotação trigo/soja. R2: rotação trigo/soja e ervilhaca/sorgo. R3: rotação trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja. \*, ns = diferenças entre camadas significativas e não significativas pelo teste t pareado, ao nível de 5 % de probabilidade de erro, respectivamente.

Os valores médios de umidade do solo das amostras obtidos nas tensões 10, 300 e 500 kPa, e usadas na avaliação da RP, encontram-se na Tabela 3.

Os resultados dos atributos físicos densidade, macroporosidade, criptoporosidade e RP nas tensões de 300 e 500 kPa observados na camada de 6,8 - 20 cm, nos tratamentos com uso agrícola ocorreram em níveis restritivos limitando a capacidade do solo em ofertar ar e água às plantas cultivadas (Bronick & Lal, 2005; Klein et al., 2006; Klein & Câmara, 2007) e ao adequado desenvolvimento de raízes. O aumento da RP foi uma destas restrições mais importantes, conforme sugeriram Secco et al. (2009), sendo observada, no presente trabalho, observada na camada subsuperficial dos manejos conservacionistas PD e PM, e em menor grau, no

PC. Os valores de RP da mata foram inferiores aos do solo sob uso agrícola.

Não houve efeito da interação entre os tipos de manejo de solo e as rotações de culturas avaliadas, nem efeito isolado destes fatores nos teores de argila dispersa em água (ADA) conforme consta na Tabela 1. Esses resultados não evidenciaram que os teores de ADA estão sujeitos a alterações causadas pelo manejo do solo (Pernes-Debuyser & Tessier, 2004) e para contribuir na formação de camadas compactadas (Carvalho et al., 1998). Dentre os tipos de manejo, as mudanças observadas nos teores de ADA ocorrem nas camadas subsuperficiais e podem ser resultantes da ação de insumos com características dispersantes (Pernes-Debuyser & Tessier, 2004).



Tabela 3. Valores médios de umidade do solo (m³ m⁻³) nas tensões de 10, 300 e 500 kPa, de amostras de duas camadas de um Latossolo Vermelho distrófico manejado com três tipos de manejo de solo, submetidas à avaliação com penetrômetro de bancada

Manejo	PD		PC		PM		Mata	
	Camada, cm							
Tensão	0 – 6,7	6,8 - 20	0 – 6,7	6,8 - 20	0 – 6,7	6,8 - 20	0 – 6,7	6,8 - 20
<b>Umidade volumétrica - θ (m³ m⁻³)</b>								
<b>10</b>	0,392	0,374	0,367	0,370	0,372	0,366	0,375	0,360
<b>300</b>	0,294	0,296	0,282	0,275	0,290	0,303	0,247	0,242
<b>500</b>	0,287	0,289	0,274	0,267	0,247	0,268	0,239	0,235

PD: plantio direto. PC: preparo convencional com arado de discos e grades. PM: preparo mínimo com escarificador de hastes. R1: rotação trigo/soja. R2: rotação trigo/soja e ervilhaca/sorgo. R3: rotação trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja.

Constatou-se, assim, que os maiores valores de ADA ocorreram na camada de 6,8 a 20 cm, ou seja, na camada compactada. Na condição estrutural original do Latossolo avaliado, os maiores valores ocorrem nas camadas superficiais (Brasil, 1973), sendo observado um aumento e inversão da distribuição do teor de ADA com o uso agrícola. Vários fatores poderiam estar contribuindo para estas alterações, incluindo a iluviação da argila que foi dispersa na camada superficial por agentes químicos como os fertilizantes salinos de efeito dispersante (Azevedo & Bonumá, 2004; Pernes-Debuyser & Tessier, 2004). Isto pode ser evidenciado com o maior teor de ADA observado na camada de 0 a 6,7 cm da mata, ocorrendo o contrário nos solos sob uso agrícola (Tabela 1).

De acordo com Jucksch et al. (1986) e Spera et al. (2008), a calagem superficial no PD pode contribuir para a formação de camada compactada. Embora a acidez do solo tenha sido corrigida há 22 anos, a pretérita dispersão ainda pode estar influenciando os teores de ADA, além de outros agentes mencionados.

O Latossolo avaliado tem predomínio de caulinita, entre os minerais secundários típicos da fração argila, o que implica em desenvolvimento de uma macroestrutura do tipo de bloco, podendo

originar solos com densidades mais elevadas, com maior proporção de poros pequenos e menor permeabilidade que os Latossolos oxidícos, em razão do ajuste face a face das placas dos minerais da fração argila (Ferreira et al., 1999).

A condutividade hidráulica do solo saturado (CHSS) foi avaliada em parcelas sob os três tipos de manejo, porém, somente nas rotações R1 e R3. Na média dos tratamentos, os valores da camada de 0 a 7,5 cm foram maiores que os da camada de 10 a 17,5 cm, mas não houve diferenças entre os tratamentos, dentro de cada uma das camadas avaliadas (Tabela 4). Os valores de CHSS observados corroboram com a constatação de que o IHO da camada de 10 a 17,5 cm, onde também se observou baixos valores de macroporosidade, elevada RP e densidade do solo, indicando que esta é uma camada compactada. Os valores de CHSS observados nesta camada, e no PM não indicaram haver efeito favorável da ação das hastes do escarificador na melhoria deste atributo, ao contrário do observado por Câmara & Klein (2005). Estes autores compararam a CHSS entre PD e PM e verificaram que a escarificação aumentou a significativamente a condução da água, mesmo após 12 meses de efetuada esta operação mecanizada. Já os valores de CHSS da mata foram, pelo menos, três vezes maiores que os dos solos sob uso agrícola.

Tabela 4. Valores de condutividade hidráulica do solo saturado de duas camadas de Latossolo Vermelho distrófico. Média de três tipos de manejo de solo e de rotações de culturas

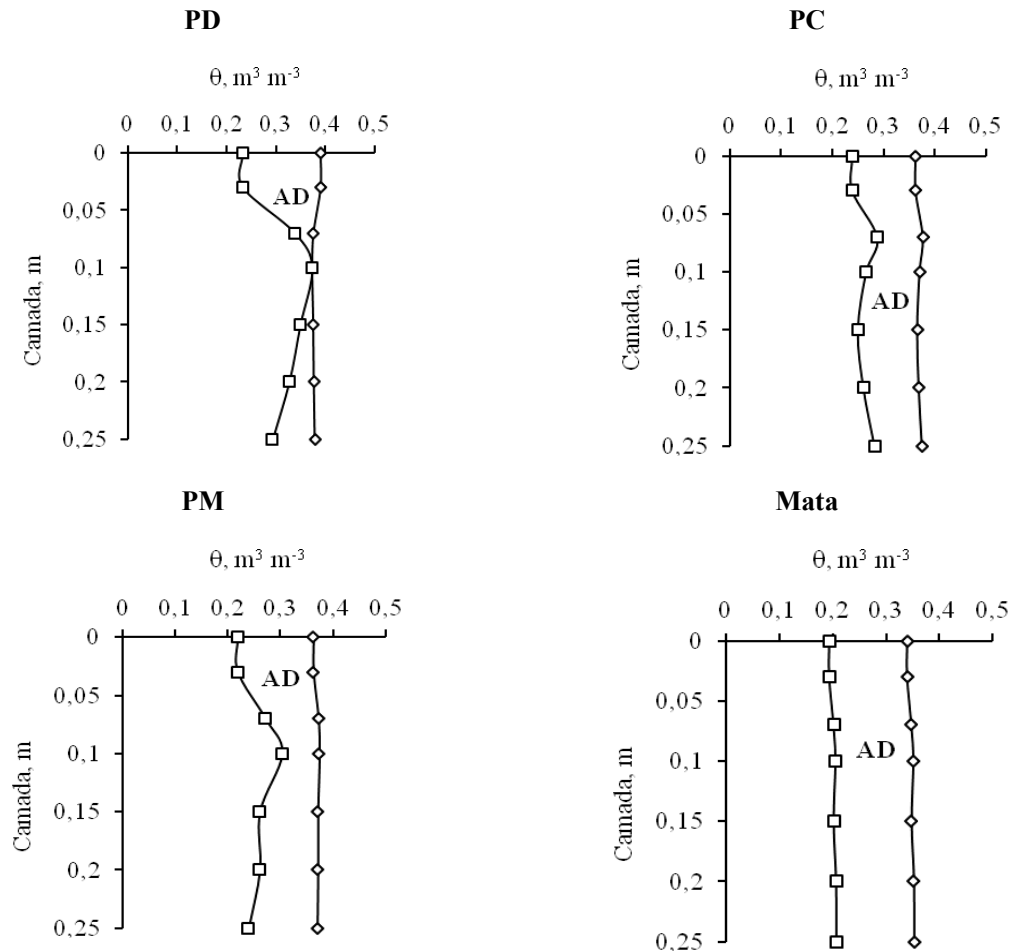
Média	Camada, cm				t pareado
	0 – 7,5	CV (%)	10 – 17,5	CV (%)	
<b>Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹)</b>					
Tratamentos	40	23,6	17	27,6	*
Mata	131	12,8	97	16,0	*

\* , ns = diferenças entre camadas significativas e não significativas pelo teste t pareado, ao nível de 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) variou com a profundidade do solo, sendo menor na de 10 cm, dentro da camada de 6,8 a 20 cm, que foi considerada compactada. O perfil de distribuição de água disponível foi recalculado com base no método do IHO, sendo ilustrado na Figura 1, em função dos tipos de manejo de solo avaliados. Comparando os três tipos de manejo, observou-se que no PD houve sensível redução na quantidade de água disponível, em razão das restrições impostas pela porosidade de aeração e pelos efeitos da resistência mecânica do solo à penetração. Resultados reportados por Beutler et al. (2006), Klein et al. (2006) e Klein & Câmara

(2007) corroboram com os resultados observados no presente trabalho.

Na profundidade de 10 cm do solo sob PD, o valor do IHO foi zero (Figura 1), o que é decorrente das condições desfavoráveis do solo ao desenvolvimento de raízes das culturas (Beutler et al., 2006; Klein, 2008). Este valor de IHO coincidiu com o maior valor de densidade do solo, com a redução da macroporosidade e com o aumento no volume de criptoporos (Tabela 1), indicando condição restritiva causada pela elevada RP nessa camada (Tabela 2).



**Figura 1.** Perfil de distribuição de água disponível (AD), calculado pelo método do IHO, de um Latossolo Vermelho distrófico, em função dos tipos de manejo de solo (PD: plantio direto; PM: preparo mínimo com escarificador de hastes; PC: preparo convencional com arado de discos e grade) e da mata. Média das rotações de culturas.



Constatou-se que, no PM, o IHO foi maior aos 10 cm, profundidade esta onde há ação rompedora das hastes do escarificador, ainda que o valor tenha sido inferior ao PC. A disponibilidade de água no solo da mata não variou com a profundidade do solo (Figura 1).

O menor volume de macroporos e de criptoporos na camada de 6,8 a 20 cm correspondeu ao aumento da densidade do solo (Tabela 1). Isto alterou outros atributos físicos, como a resistência à penetração do solo, o intervalo hídrico ótimo e condutividade hidráulica do solo saturado, principalmente no PD (Tabelas 1 e 4), o que, segundo Beutler et al. (2004) pode aumentar o efeito restritivo destes atributos no crescimento das raízes. Os rendimentos de grãos (RG) e de matéria seca das culturas (MS), de acordo com os tipos de

manejo do solo e de rotações constam na Tabela 5. Os resultados desta mostram que somente o RG do sorgo variou entre os manejos de solo, sendo maior com os manejos conservacionistas, sendo que estes também proporcionaram maior MS da parte aérea desta cultura e da soja. Os resultados obtidos, porém, devem ser interpretados com cautela, pois o relevo da área experimental não propicia erosão e que juntamente com a restrição química (acidez) devem ter limitado a ação dos tratamentos testados, em influenciar o RG. Já o efeito das rotações de culturas foi significativo somente no RG e MS do trigo, que foram maiores com a R3 (trigo, soja, ervilhaca, sorgo, aveia branca e soja), provável consequência da redução de infestação de moléstias fitopatológicas promovidas pela rotação (Santos & Reis, 2001).

**Tabela 5.** Médias de rendimento de grãos (RG) e de matéria seca dos resíduos culturais obtidas com os três tipos de manejo de solo e de rotações de culturas, no inverno de 2007 e verão 2007/08. Médias de três tipos de manejo de solo e de rotações de culturas

Cultura	PD	PC	PM	R1	R2	R3	CV (%)
<b>Rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)</b>							
Trigo	2.964 <sup>ns</sup>	2.965	3.021	2.643 <sup>c</sup>	2.960 <sup>b</sup>	3.308 <sup>a</sup>	11,7
Soja	2.434 <sup>ns</sup>	2.443	2.442	2.414 <sup>ns</sup>	2.471	2.435	12,4
Aveia branca	3.149 <sup>ns</sup>	3.121	2.997	-	-	3.089	6,4
Sorgo	6.053 <sup>a</sup>	5.522 <sup>b</sup>	6.083 <sup>a</sup>	-	5.933 <sup>ns</sup>	5.838	12,5
<b>Matéria seca (kg ha<sup>-1</sup>)</b>							
Trigo	7.330 <sup>ns</sup>	7.007	7.465	6.466 <sup>c</sup>	7.267 <sup>b</sup>	8.064 <sup>a</sup>	14,9
Soja	4.779 <sup>a</sup>	4.265 <sup>b</sup>	4.987 <sup>a</sup>	4.390 <sup>ns</sup>	4.864	4.778	11,4
Aveia branca	7.735 <sup>ns</sup>	7.761	7617	-	-	7.671	11,6
Sorgo	15.605 <sup>a</sup>	13.877 <sup>b</sup>	15.688 <sup>a</sup>	-	15.075 <sup>ns</sup>	15.038	15,2
Ervilhaca	3.913 <sup>ns</sup>	3.845	3.974	-	3.833 <sup>ns</sup>	3.989	14,9

PD: plantio direto. PC: preparo convencional com arado de discos e grades. PM: preparo mínimo com escarificador de hastes. R1: rotação trigo/soja. R2: rotação trigo/soja e ervilhaca/sorgo. R3: rotação trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja. Valores seguidos de letras diferentes, na horizontal, indicam diferenças entre os tipos de manejo e rotação de culturas pelo teste Tukey. ns: diferenças não significativas.

De acordo com Calegari et al. (1993) a ervilhaca é muito sensível ao solo com deficiência hídrica, mas na safra de 2007 não ocorreu esta condição no inverno na região de Passo Fundo, de acordo com Pasinato & Cunha (2007). Houve, porém, variação de RP nas subparcelas, de acordo com os valores de coeficiente de variação (Tabela 2). Além do mais, a planta de sorgo tem maior potencial para resistir a impedimentos físicos devido à tolerância à seca do que as demais culturas avaliadas (Rodrigues & Santos, 2007).

Spera et al. (2004) não observaram diferenças nos RG de soja cultivadas com os mesmos tipos de

manejo de solo avaliados neste trabalho. Ao relacionarem os RG com atributos físicos de solo, estes autores também não observaram relações com os atributos físicos densidade, porosidade total e macroporosidade, e atribuíram as variações de RG e MS às deficiências nutricionais do solo, sendo que isto pode ter ocorrido neste trabalho em função da acidez elevada (Spera, 2009).

### Conclusões

Independente dos tipos de manejo de solo e de rotação de culturas, os valores dos atributos físicos avaliados, em geral, indicaram que as alterações





provocadas pelo uso agrícola do solo proporcionaram aumento do efeito restritivo ao desenvolvimento radicular nas camadas subsuperficiais.

Não houve interação entre os tipos de manejo de solo e as rotações de culturas sobre os atributos físicos do solo.

O tipo de manejo de solo alterou a RP do solo com deficiência hídrica, maior nos manejos conservacionistas e a água disponível do solo, menor no plantio direto. Entretanto, não influenciou a densidade, a porosidade (total, macro, micro e criptoporos) e a CHSS, enquanto que o tipo de rotação de culturas não influenciou nenhum dos atributos físicos.

O uso agrícola do solo promoveu maior teor de argila dispersa em água na camada subsuperficial em comparação ao solo sob mata.

O valor do intervalo hídrico ótimo do solo sob plantio direto é nulo, indicando ambiente edáfico muito restritivo ao desenvolvimento radicular.

#### Referências

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**, v.25, p.717-723, 2001.

AZEVEDO, A.C.; BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. **Ciência Rural**, v.34, p.609-617, 2004.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G. Relação entre alguns atributos físicos e a produção de grãos de soja e arroz de sequeiro em latossolos. **Ciência Rural**, v.34, p.365-371, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.639-645, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura. DPP. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife. 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: COSTA, M.B.B. (Coord.) **Adubação verde no sul do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: AS-PTA,1993. p.219-221.

CÂMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v.35, p.813-819, 2005.

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

CARVALHO, I.A.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.505-514, 1998.

COHORT SOFTWARES. **Free trial version of CoStat 6.4**. Monterrey. Disponível em <<http://www.cohort.com>>. 2009. Acesso em: 02/12/2009.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Indicações técnicas para cultura da aveia**. Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia / Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Guarapuava, PR, 2006. 82p.

CUNHA, J.P.A.R.; CASCÃO, V.N.; REIS, E.F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.371-376, 2009.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2006/2007**. In: 34ª Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. Pelotas,



- RS. Embrapa Clima Temperado, 2006. 237p. (versão online).
- EMBRAPA SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- EMYGDIO, B.M.; TEIXEIRA, M.C.C. (Org.). **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul - 2006/2007**. In: 51ª Reunião Técnica Anual de Milho e 34ª Reunião Técnica Anual de Sorgo, Passo Fundo, RS, 2006. Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Passo Fundo, RS, Embrapa Trigo, 2006. 184 p.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.507-514, 1999.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. **Ciência Rural**, v.37, p.1.316-1.322, 2007.
- JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; RIBEIRO, A.C.; SOPRANO, E. Efeito da calagem na dispersão de argila em latossolo vermelho-escuro. **Revista Ceres**, n.33, p.456-460, 1986.
- KAISER, K.; GUGGENBERGER, G. Mineral surfaces and soil organic matter. **European Journal of Soil Science**, v.54, p.219-236, 2003.
- KERTZMANN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação**. São Paulo: ESALQ/USP, 1996. 153p. Tese de Doutorado.
- KLEIN, V.A. **Física do solo**. Passo Fundo: UPF Editora. 2008, 212p.
- KLEIN, V.A.; CÂMARA, R.K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.221-227, 2007.
- KLEIN, V.A.; REICHERT, J.M.; REINERT, J.D. Água disponível em um latossolo vermelho argiloso e murcha fisiológica das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.646-650, 2006.
- KOAKOSKI, A.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; SOUZA, L.C.F.; REIS, E.F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.725-731, 2007.
- LHAMBY, J.C.B.; BACALTCHUK, B. (Org.). **Informações técnicas para a safra 2007: trigo e triticale**. In: 38ª Reunião da Comissão Sul-brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale; 21ª Reunião da Comissão Centro-Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, Passo Fundo, RS, 2006, Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo / Comissão Sul-brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale / Comissão Centro-sul Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2006. 75p. (Documentos. Embrapa Trigo, 69).
- PASINATO, A.; CUNHA, G.R. **Informações meteorológicas de Passo Fundo, RS**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 5p. html. (Embrapa Trigo. Comunicados técnicos online 223 a 231). Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio>>
- PERNES-DEBUYSER, A.; TESSIER, D. Soil physical properties affected by long-term fertilization. **European Journal of Soil Science**, v.55, p.505-512, 2004.
- REIS, E.F.; FERNANDES, H.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; ARAÚJO, E.F. Avaliação de mecanismos rompedores e compactadores em semeadura direta. **Engenharia na Agricultura**, v.12, p.212-221, 2004.
- RODRIGUES, J.A.S.; SANTOS, F.G. (Eds.). **Cultivo do sorgo**. 3ed. Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas, 2007 (Sistemas de Produção, 2. Versão Eletrônica. 2007).
- SANTOS, H.P.; REIS, E.M. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 212 p.
- SAVAGE, M.J.; RITCHIE, J.T.; LAND, W.L.; DUGAS, W.A. Lower limit of soil water available. **Agronomy Journal**, v.88, p.844-851, 1996.



- SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v.39, p.58-64, 2009.
- SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.921-930, 2006.
- SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; MORAES-SÁ, J.C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils. Effects of no-tillage. **Agronomie**, v.22, p.755-775, 2002.
- SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 7.ed. Ames: ISU Press. 507p. 1982.
- SPERA, S.T. **Atributos físicos e químicos de um latossolo e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas**. 2009. 228p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.
- SPERA, S.T., DENARDIN, J.E., ESCOSTEGUY, P.A.V., SANTOS, H.P., FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2.613-2.620, 2008.
- SPERA, S.T., SANTOS, H.P., FONTANELI, R.S., TOMM, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.36, p.1.193-1.200, 2006.
- SPERA, S.T., SANTOS, H.P., FONTANELI, R.S., TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.129-136, 2009.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p.533-542, 2004.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; TOMM, G.O.; KOCHHANN, R.A. Efeito de sistemas de manejo em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.13, p.61-68, 2007.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: EMATER/RS 2008. 222p.
- SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Produtividade do milho (*Zea mays* L.) influenciada pelo preparo do solo e por plantas de cobertura em um Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.26, p.61-65, 2004.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo em latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.573-581, 1998.
- VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.11-19, 2004.
- ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.38, p.947-958, 2000.