

Atributos físico-hídricos de um solo cultivado com pastagem de azevém sob diferentes combinações de preparo e tratamento¹

Physico-hydrical attributes of a soil cultivated with raygrass (*Lolium multiflorum* L.) pasture under different combinations of prepare and treatment

Claudia Fernanda Almeida Teixeira², Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli²,
Ivan Renato Cardoso Krolow³ e Marcia Aparecida Simonete⁴

Resumo - Com o objetivo de avaliar o possível efeito de diferentes combinações de preparo e tratamento do solo (calagem e adubação orgânica e/ou mineral) nos atributos físico-hídricos de um Argissolo Amarelo Distrófico típico, localizado no município de Capão do Leão, RS, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, em triplicata, em cada parcela de um experimento cultivado com pastagem de azevém, em sistema de plantio direto. Os tratamentos avaliados foram T1 - Testemunha (solo natural); T2 - Húmus+calcário; T3 - NPK+calcário; T4 - Calcário; T5 - Húmus e T6 - Húmus+P+calcário, sendo o húmus utilizado a partir da vermicompostagem de esterco bovino. Avaliaram-se os seguintes atributos físico-hídricos: densidade do solo, macro e microporos, porosidade total, matéria orgânica, retenção de água no solo, água disponível e água armazenada. Os resultados obtidos mostraram não haver diferença estatística para as variáveis densidade do solo, macro e microporos, porosidade total e água disponível. No entanto, para a macroporosidade, os tratamentos apresentaram taxas inaceitáveis de difusão gasosa ($< 0,100 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$). Os teores de matéria orgânica foram maiores nos tratamentos T2 (Húmus+calcário) e T5 (Húmus), porém sem diferirem significativamente dos tratamentos T3 (NPK+calcário) e T6 (Húmus+P+calcário). A maior variação encontrada para as curvas de retenção foi para o tratamento 1 (Testemunha, solo natural), quando comparada às demais. Isto pode estar relacionado ao possível efeito das diferentes adubações nas características físicas do solo. Para a água armazenada os diferentes tratamentos mostraram diferenças significativas.

Termos para indexação: água disponível, plantio direto, adubação orgânica, adubação mineral.

Abstract - This work aimed to evaluate the different combinations of prepares and soil treatment (calcareous and organic and/or mineral fertilizer) in the physico-hydrical attributes of Argissolo Amarelo Distrófico típico, located in Capão do Leão, RS. The deformed and not deformed samples were collected, in triplicate, in each plot of an experiment cultivated with ray grass pasture in no-tillage system. The evaluated treatments were: T1-calcareous and fertilizer absence, T2-Calcareous humus, T3-NPK+calcareous, T4-Calcareous, T5-Humus and T6-Húmus+P+calcareous. The used humus was obtained from vermicompost of bovine manure. The following features were evaluated: soil density, macro and micro porosity, total porosity, organic matter, water retention, available and stored water. According to the results there was no statistical difference for the variables density, micro porosity, macro porosity, total porosity and available water. However, the treatments showed unacceptable rates of gaseous diffusion ($< 0.10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) for macro porosity. The organic matter contents were larger in the treatments T2 (calcareous Humus) and T5 (Humus), but without differing significantly in the treatments T3 (NPK+calcareous) and T6 (Humus+P+calcareous). The biggest change for the retention curves was observed in the treatment 1 (calcareous and fertilizer absence). This can be related to the possible effect of the different fertilizers in the soil physical characteristics. For the stored water the different treatments showed significant differences.

Index terms: available water, no-tillage, organic fertilization, mineral fertilization.

¹ Recebido para publicação em 22/10/2004; aprovado em 31/01/2006.

Trabalho apresentado no XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto, SP.

² Eng. Agrícola, D. Sc., Profa. do Dep. de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel FAEM/UFPEL, Pelotas, RS - Caixa Postal 354, CEP 96.010-900, cfteixe@ig.com.br

³ Eng. Agrônomo, Pós-Graduando em Agronomia, FAEM/UFPEL, Pelotas, RS.

⁴ Eng. Agrônomo, D. Sc., Prof. do Dep. de Ciências Agroveterinárias/CAV da Universidade do Estado de Santa Catarina/UEDESC.

Introdução

A aplicação de resíduos orgânicos ao solo continua sendo uma prática comum em pequenas propriedades rurais. Entretanto, pouco se conhece sobre as quantidades a aplicar, isoladas ou associadas à elementos minerais, que permitam resultados satisfatórios. Essas quantidades variam provavelmente, dentre outros fatores, com as propriedades físico-químicas do solo, natureza do material orgânico, condições de mineralização e espécie vegetal (Ernani & Gianello, 1982). A maioria dos trabalhos existentes está relacionada ao estudo da influência destes resíduos, associados aos adubos minerais, em propriedades químicas do solo. Holanda et al. (1982) avaliaram a possibilidade de substituir total ou parcialmente os adubos minerais, cujas doses foram recomendadas pelos laboratórios de análise de solos, por adubação orgânica com esterco de aves, em baixa dosagem. Os autores verificaram que a produção de feijão, milho, tremoço, milheto e aveia mais ervilhaca, adubados com 12 Mg.ha⁻¹ de cama de aves, foi equivalente à produção desses cultivos adubados quimicamente nas doses recomendadas para os mesmos.

Embora sejam conhecidos os efeitos da adubação orgânica nas propriedades químicas, quando se trata de propriedades físicas poucos são os trabalhos que têm sido conduzidos no Brasil, principalmente naquelas relacionadas aos processos hídricos. Aspectos relacionados às modificações físicas dos solos em função do tipo de uso e sistemas de manejo adotados ainda são objeto de estudo atualmente. O preparo excessivo, para culturas anuais, pode causar sérios danos, gerando sua degradação e, por consequência, a erosão. Quando se utiliza cultivo de plantas que apresentam uma boa produção de raízes profundas com crescimento rápido e agressivo, como é o caso das gramíneas, que mantêm o solo coberto, pode-se muitas vezes proporcionar a recuperação de solos fisicamente degradados (Greenland, 1971). Nesse sentido, Teixeira et al. (2000), com o objetivo de avaliar os efeitos de sistemas de cultivo utilizando diferentes plantas de cobertura, num Argissolo Amarelo distrófico, concluíram que três anos de cultivo, em sistema plantio direto, foram insuficientes para promover mudanças nos atributos físicos do solo.

Como benefícios causados pela adição contínua de matéria orgânica nas condições físicas do solo, comum ao sistema plantio direto, podem-se citar maior estabilidade dos agregados, menor densidade, aumento do espaço poroso, diminuição do encrostamento superficial e aumento da infiltração da água no solo (Bayer & Mielniczuk, 1999). Para Gavande (1982) a matéria orgânica é responsável pela

formação de grânulos, proporcionando a diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade.

A porosidade total e a distribuição desses poros em classes de tamanho (macro e microporos) influenciam diretamente o armazenamento de água, a disponibilidade de nutrientes e o transporte da solução e do ar no solo. A quantidade de macroporos ou porosidade de aeração destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas. Vomocil & Flocker (1961) consideram que valores de macroporos inferiores a 0,100 m³.m⁻³ constituem limitação ao crescimento radicular.

Aliado a isso, as características de retenção de água no solo são substancialmente afetadas pela distribuição do tamanho de partículas do solo e também pelo arranjo das mesmas. Normalmente solos de textura média apresentam maiores teores de água disponível, devido à maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e maior superfície de adsorção do que solos de textura mais grossa (Brady, 1989). Entretanto, solos de mesma classe textural podem apresentar curvas de retenção diferentes; devido às diferentes granulometrias nas mesmas classes de textura; resultados diferenciados no teor de matéria orgânica, no tipo de argila e nos microagregados constituintes da estrutura do solo. Para Moraes (1991), o teor de matéria orgânica tem um efeito direto devido a sua natureza, na maioria dos casos hidrófila, e indireto pela modificação da estrutura do solo, como agente cimentante.

Como forma de proporcionar um aporte de matéria orgânica ao solo tem sido adotado a vermicompostagem, por ser esta uma forma também de dar um destino adequado aos resíduos vegetais e animais que são produzidos na propriedade. A vermicompostagem consiste de uma técnica na qual são utilizadas minhocas para digerir a matéria orgânica e conseqüente produção de húmus.

Fatores como quantidade e qualidade do vermicomposto aplicado, por sua vez, causam respostas diferenciadas sobre os atributos do solo, ou seja, às vezes é necessária a incorporação de uma grande quantidade do resíduo e de forma contínua no tempo, para a obtenção de efeitos positivos sobre a estrutura do solo. Segundo Hafez (1974), esterco com maior teor de fibras como os de bovinos e eqüinos, quando comparados aos de aves, promovem maiores alterações nas características físicas do solo.

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o possível efeito da combinação de preparo e tratamento do solo (calagem e adubação orgânica e/ou mineral) nos atributos físico-hídricos de um Argissolo Amarelo Distrófico típico cultivado sob pastagem de azevém, em sistema de plantio direto.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, cujas coordenadas geográficas são 31° 45' de latitude sul e 52° 27' de longitude oeste, com altitude média de 28 m. O solo onde foi implantado o experimento foi classificado por Cunha & Silveira (1996) como Argissolo Amarelo Distrófico típico, de textura franco arenosa.

Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas mediam 2,0 m de largura e 4,0 m de comprimento, totalizando 8 m².

Os tratamentos foram T1 - Testemunha (solo natural); T2 - Húmus + calcário; T3 - NPK + calcário; T4 - Calcário; T5 - Húmus e T6 - Húmus + P + calcário. O vermicomposto utilizado foi produzido a partir de esterco bovino e que, após o processo de vermicompostagem, apresentou as seguintes características: 0,63% de nitrogênio; 0,15% de fósforo; 0,49% de potássio; 0,18% de cálcio e 0,12% de magnésio. Os atributos químicos obtidos na camada de 0 - 0,20 m, bem como a distribuição das partículas por tamanho, obtida pelo método da pipeta e densidade de partículas, obtida pelo método do picnômetro (Embrapa, 1997) encontram-se na Tabela 1.

A área experimental, outrora coberta por aveia preta (*Avena strigosa* "comum") em cultivo convencional, foi preparada para a implantação do experimento em julho de 2002, no sistema plantio direto. A preparação consistiu na dessecação da cultura utilizando o herbicida Roundup (Glyphosate) + Deferon (2-4, D), nas dosagens de 2,0 + 1,2 L ha⁻¹, respectivamente, e, após, a incorporação manual dessa resteva ao solo.

A calagem e as adubações foram realizadas segundo recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo (1995) para o RS e SC. Foi utilizado para a calagem o calcário Filler, na quantidade de 4,8 Mg.ha⁻¹ e 0,5 kg.parcela⁻¹ da fórmula 5-15-10. Para a complementação da fórmula utilizada (5-15-10) foram adicionados, em cobertura, 0,33 kg.parcela⁻¹ de uréia (45% N) e superfosfato, triplo contendo 42% de P₂O₅, não sendo necessária a complementação de potássio. Na adubação orgânica foram utilizados 20 kg.parcela⁻¹, sendo metade da dose na semeadura e o restante em cobertura.

Os fertilizantes utilizados nos respectivos tratamentos foram distribuídos a lanço, imediatamente antes da semeadura do azevém (*Lolium multiflorum* "comum"), em sistema plantio direto. A semeadura do azevém foi realizada a lanço em 3 de agosto de 2002, na densidade de 40 kg.ha⁻¹.

Foram coletadas amostras deformadas para a determinação do teor de carbono orgânico em cada parcela, em triplicata e na mesma camada de interesse (0 - 0,20 m). A determinação, em laboratório, do carbono orgânico foi realizada segundo o método de Walkley-Black, descrito por Tedesco et al. (1995). Todas as análises foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/FAEM, Universidade Federal de Pelotas/UFPel.

Para a determinação das curvas de retenção de água no solo, foram coletadas amostras indeformadas utilizando anéis volumétricos de aproximadamente 50 cm³, em triplicata, na camada de 0 - 0,20 m de profundidade, em agosto de 2003. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Departamento de Solos da FAEM/UFPel, aplicando-se as tensões de 0; 0,1; 6; 10; 33; 100; 500 e 1500 kPa. Para as tensões até 10 kPa utilizou-se o método da mesa de tensão e para as maiores tensões, extrator de placa porosa de Richards (Klute, 1986). Os dados da relação entre potencial mátrico e umidade volumétrica foram ajustados utilizando o programa computacional denominado Soil Water Retention Curve-SWRC de Dourado Neto et al. (2001), que utiliza a equação de Van Genuchten (1980). Neste programa, os parâmetros empíricos de ajuste do modelo α , n e m , para cada tratamento, foram determinados a partir de valores iniciais de 0,015; 2,5 e 0,50, respectivamente, considerando a independência entre n e m .

A densidade do solo foi obtida utilizando-se o método do anel volumétrico, contido no Manual de Métodos de Análises de Solo (Embrapa, 1997), nos mesmos anéis volumétricos utilizados para a confecção da curva de retenção. A macro e a microporosidade foram determinadas após ajuste dos dados de umidade versus potencial mátrico à equação de Van Genuchten (1980), considerando-se o potencial mátrico de 6 kPa (Embrapa, 1997).

Para a determinação da água armazenada nos diferentes tratamentos utilizou-se a seguinte expressão: $h = (\theta \times z)$,

Tabela 1 - Atributos químicos e valores médios de areia, silte, argila e densidade de partículas (ρ_p) na camada de 0 - 0,20 m, do Argissolo Amarelo Distrófico típico, determinados por ocasião das coletas de solo.

pH	ISMP ⁽¹⁾	P K Na			Al Ca Mg			Areia	Silte	Argila	ρ_p kg m ⁻³
		— mg L ⁻¹ —			— cmol _c L ⁻¹ —						
5,3	6,4	6,4	50	9	0,5	3,2	1,3	593	258	149	2580

⁽¹⁾ Acidez potencial do solo.

onde h = água armazenada (mm), θ = umidade volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) e z = espessura da camada de solo (mm). Foi considerado como limite superior de umidade, a quantidade de água retida na tensão de 33 kPa (conceito clássico de capacidade de campo), obtida após o ajuste das curvas à equação de Van Genuchten (1980).

A água disponível foi calculada utilizando-se a expressão: $AD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times 100$, onde AD = água disponível (%), θ_{CC} = valor da umidade na capacidade de campo a uma tensão de 33 kPa (conceito clássico de capacidade de campo) ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) e θ_{PMP} = valor de umidade no ponto de murcha permanente a uma tensão de 1500 kPa de coluna de água ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$), obtidos após o ajuste das curvas à equação de Van Genuchten (1980).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade de erro e comparação de médias pelo teste de Duncan, utilizando o Sistema de Análise Estatística (SANEST) segundo Zonta & Machado (1984).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos mostraram não haver diferença estatística para as variáveis densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total entre os diferentes tratamentos (Tabela 2), demonstrando que a utilização de adubação orgânica e adubação química, isoladas ou associadas, nas quantidades recomendadas pela Comissão de Fertilidade do Solo para o RS e SC (1995), apresentam o mesmo efeito quando comparadas ao tratamento sem adubação (Testemunha, solo natural).

Tabela 2 - Valores de densidade do solo (ρ_s), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (α) e matéria orgânica (MO) de um Argissolo Amarelo Distrófico típico cultivado sob diferentes adubações.

Tratamentos	ρ_s kg.m ⁻³	Ma m ³ .m ⁻³	Mi m ³ .m ⁻³	α m ³ .m ⁻³	M.O. g.kg ⁻¹
T1	1560a	0,076a	0,263a	0,339a	1,91b
T2	1520a	0,079a	0,282a	0,361a	2,17a
T3	1570a	0,058a	0,282a	0,340a	2,02ab
T4	1540a	0,087a	0,274a	0,361a	1,87b
T5	1530a	0,075a	0,301a	0,376a	2,17a
T6	1460a	0,085a	0,291a	0,376a	1,96ab

T1 - Testemunha (solo natural); T2 - Húmus + calcário; T3 - NPK + calcário; T4 - Calcário; T5 - Húmus e T6 - Húmus + P + calcário. Médias seguidas por letras distintas para cada coluna, diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Com relação à macroporosidade todos os tratamentos apresentaram taxas de difusão gasosa inferiores a 0,100 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, valor considerado por Vomocil & Flocker (1961) como mínimo aceitável para o bom desenvolvimento radicular. A pequena proporção de macroporos encontrada no solo em estudo (média de 0,077 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) sugere a ocorrência de problemas de compactação. Segundo Gavande (1982) o incremento do grau de compactação de um solo pode ser caracterizado pelo aumento no valor de densidade do solo e uma redução da porosidade total, com aumento na proporção de poros menores em detrimento dos maiores. Há que se considerar, ainda, que o solo onde foi implantado o experimento apresentava sinais visíveis de erosão laminar e compactação, causados, provavelmente, por cultivo contínuo no sistema convencional.

Os resultados obtidos quando testaram-se os efeitos dos diferentes tratamentos de adubação nestes atributos físicos podem estar relacionados ao período de avaliação ter sido insuficiente para permitir a detecção de efeitos mais pronunciados nesses parâmetros, sugerindo a necessidade de estudos mais aprofundados e com um período maior de utilização dos diferentes tratamentos. Teixeira et al. (2000), avaliando a influência de plantas de cobertura em sistema plantio direto em atributos físicos, concluíram que três anos foram insuficientes para promover alterações nos parâmetros densidade do solo, microporosidade e porosidade total. Para a macroporosidade os autores encontraram diferenças significativas para os tratamentos que utilizaram aveia+ervilhaca/soja e aveia/soja.

Para a variável matéria orgânica observa-se que em todos os tratamentos os valores encontrados, segundo a recomendação, foram considerados baixos. Este fato pode estar associado a qualidade do vermicomposto utilizado (item Material e Métodos), o qual apresenta características que podem classificá-lo como de baixa qualidade, sendo provavelmente o fator condicionante para proporcionar incrementos substanciais nos valores de matéria orgânica do solo.

Quando avalia-se o efeito dos tratamentos neste atributo observa-se que os teores foram maiores nos tratamentos T2 (Húmus+calcário) e T5 (Húmus), porém sem diferirem significativamente dos tratamentos T3 (NPK+calcário) e T6 (Húmus+P+calcário), evidenciando que a utilização de adubação orgânica isolada, apesar da baixa qualidade do vermicomposto, causou acréscimos nos teores de matéria orgânica (13,61 %). A utilização de calcário não interferiu nos valores de matéria orgânica e, por consequência, não há a necessidade da utilização de calcário isolado (T4) nesse solo, pois esse tratamento não mos-

trou-se diferente da testemunha. Outro aspecto a considerar é a profundidade de coleta para avaliação desse parâmetro, em sistema plantio direto. A deposição de resíduos de culturas na superfície associada a adição de adubo orgânico, alteram a taxa de decomposição e liberação dos nutrientes no solo. Portanto, uma amostra de solo coletada na camada arável (0 - 0,20 m), preconizada para o sistema convencional, não será adequada para detectar diferenças que ocorrem no sistema plantio direto. Costa (2002) sugere que a amostragem deva ser realizada na camada de 0 - 0,10 m. É possível que a profundidade de 0 - 0,20 m tenha sido inadequada para avaliar o efeito da matéria orgânica nos diferentes tratamentos estudados.

Com relação aos aspectos hídricos, que são apresentados na Tabela 3 e Figura 1, os parâmetros da equação de ajuste do modelo proposto por Van Genuchten (1980) e os gráficos relacionando as umidades volumétricas e as tensões aplicadas para cada tratamento, respectivamente.

Observa-se que o coeficiente de correlação foi muito próximo de 1 em todos os tratamentos (Tabela 2), indicando um bom ajuste dos dados. Convém ressaltar que a variação nos parâmetros de ajuste do modelo utilizado mostrou pequeno efeito na forma das curvas (Figura 1), α (entre 0,234 e 0,977.m⁻¹); m (entre 0,0304 e 0,3064); n (entre 0,6068 e 5,1521); θ_s (entre 0,339 e 0,376 m³.m⁻³) e θ_r (entre 0,101 e 0,143 m³.m⁻³), demonstrando que a alteração conjunta dos parâmetros nem sempre causa alterações nos valores de umidade volumétrica (θ), ou seja, a alteração em um dos cinco parâmetros pode ser compensada pela alteração em outro. Isoladamente os parâmetros não têm significado físico.

Estas considerações também foram resultado de pesquisa conduzido em experimento por Castro (2001), com o objetivo de estudar a dinâmica da água em terraços de infiltração, em seis profundidades, para os tratamentos grama, plantio direto, preparo convencional e solo nu.

Tabela 3 - Parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980).

Tratamentos	Parâmetros da curva de retenção de água no solo					
	α (m ⁻¹)	m	n	θ_r (m ³ .m ⁻³)	θ_s (m ³ .m ⁻³)	r ²
T1	0,234	0,3064	0,6068	0,108	0,339	0,995
T2	0,839	0,0887	1,6640	0,125	0,361	0,996
T3	0,537	0,106	1,5660	0,136	0,340	0,993
T4	0,977	0,0395	4,2487	0,101	0,360	0,996
T5	0,423	0,1934	1,3839	0,143	0,376	0,999
T6	0,894	0,0304	5,1521	0,114	0,376	0,995

T1 - Testemunha (solo natural); T2 - Húmus+calcário; T3 - NPK+calcário; T4 - Calcário; T5 - Húmus; T6 - Húmus+P+calcário.

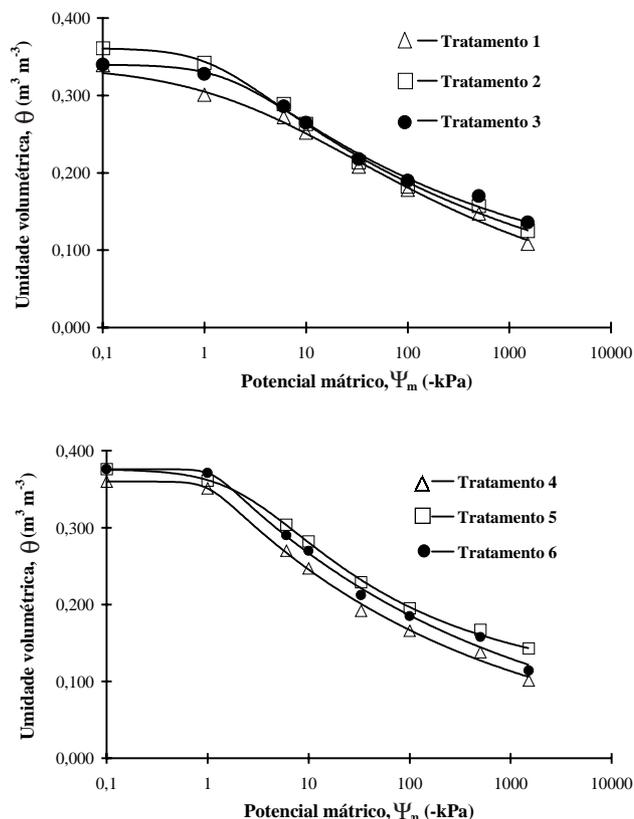


Figura 1 - Curvas de retenção de água no solo para os diferentes tratamentos. T1 - Testemunha (solo natural); T2 - Húmus+calcário; T3 - NPK+calcário; T4 - Calcário; T5 - Húmus e T6 - Húmus+P+calcário.

Observando-se visualmente as curvas de retenção para os diferentes tratamentos (Figura 1) verifica-se que a maior variação foi encontrada no tratamento 1 (Testemunha, solo natural), quando comparado aos demais. Isto pode estar relacionado ao possível efeito das diferentes adubações nos atributos físicos do solo. As curvas de retenção representativas de todos os tratamentos, entre

os potenciais mátricos de 6 e 1500 kPa (microporos), formaram retas praticamente paralelas, evidenciando distribuição semelhante de tamanho de poros. Os tratamentos que utilizaram adubação orgânica isolada e associada a mineral (T5 e T6) foram os que apresentaram maior retenção de água em tensões próximas a saturação, indicando que a estrutura do solo nestes tratamentos influenciou de forma direta nas curvas de retenção.

É possível observar as faixas relativamente pequenas de porosidade total deste solo (máximo 0,376 m³.m⁻³), que deve estar

relacionado às características granulométricas do solo estudado, mais especificamente baixos teores de argila (149 g.kg^{-1}) e problemas de compactação, indicando que as diferentes adubações foram insuficientes para causar acréscimos na porosidade total (Tabela 2).

Para a variável água disponível, os diferentes tratamentos não mostraram diferenças estatísticas entre si (Tabela 4). Analisando-se os dados de água disponível é possível observar a magnitude de variação (CV) obtida entre os dados, destacando-se o tratamento T5 (Húmus). A maior desuniformidade dos dados para esse tratamento pode estar relacionada a dificuldade de incorporação homogênea desta adubação orgânica no solo, gerando, por consequência um maior valor de coeficiente de variação (24,8%). Quando se aplica o teste de médias para a variável água armazenada, verifica-se que houve apenas diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade, entre os tratamentos T4 (Calcário) e T5 (Húmus), provavelmente devido ao efeito da matéria orgânica coloidal, capaz de promover maior capacidade de retenção de água no solo.

Tabela 4 - Água disponível (AD) e água armazenada (h) na camada de 0 - 0,20 m de um Argissolo Amarelo Distrófico típico considerando os diferentes tratamentos.

Tratamentos	AD (%)	CV	h (mm)	CV
T1	9,55a	7,6	42,25ab	10,6
T2	9,15a	12,9	43,80ab	7,9
T3	8,40a	14,0	44,70ab	13,7
T4	9,53a	11,6	39,85b	4,3
T5	8,95a	24,8	46,75a	4,1
T6	9,83a	2,8	44,05ab	6,2

T1 - Testemunha (solo natural); T2 - Húmus+calcário; T3 - NPK+calcário; T4 - Calcário; T5 - Húmus; T6 - Húmus+P+calcário. CV = Coeficiente de variação (%).

Conclusões

1. Para a camada de 0 - 0,20 m não houve diferença estatística entre tratamentos nos parâmetros físico-hídricos: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e água disponível;
2. Todos os tratamentos apresentaram valores de porosidade de aeração abaixo do limite crítico de $0,100 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$.
3. O tratamento Húmus foi capaz, isoladamente, de proporcionar maiores teores de matéria orgânica no solo estudado.
4. Houve uma variação de água armazenada de 17,3% entre os tratamentos T4 (Calcário) e T5 (Húmus).

Referências Bibliográficas

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.2-26.
- BRADY, C. N. **Natureza e propriedade dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.
- CASTRO, L. G. **Dinâmica da água em terraços de infiltração**. Piracicaba, 2001. 104p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBSC - Núcleo Regional Sul: EMBRAPA-CNPT, 1995. 224p.
- COSTA, A. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto In: MORAIS, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**, Jaboticabal; Funep, 2002. p.198-225.
- CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C. **Estudo dos solos do município de Capão do Leão**. Pelotas: EMBRAPA-CPACT: UFPel, 1996. 54p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 11).
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. Soil water retention curve: SWRC, versão 3,0. Piracicaba, 2001.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ERNANI, P. R.; GIANELLO, C. Efeito imediato e residual de materiais orgânicos, adubo mineral e calcário no rendimento vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.119-124, 1982.
- GAVANDE, S. A. **Física de suelos: principios y aplicaciones**. 4.ed. México: 1982. 351p.
- GREENLAND, D. J. Changes in the nitrogen status and physical condition of soils under pastures, with special reference to the maintenance of the fertility of Australian soils used for growing wheat. **Soil and fertilizers abstract**, Farnham Royal, v.34, p.237-251, 1971.
- HAFEZ, A. A. R. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. **Soil Science**, Baltimore, v.118, p.53-59, 1974.
- HOLANDA, J. S. de; MIELNICZUK, J.; STAMMEL, J. G. Utilização de esterco e adubo mineral em quatro seqüências de culturas em solos de encosta basáltica do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p47-51, 1982.
- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part I: Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, 1986. cap.26, p.635-660.

MORAES, S. O. **Heterogeneidade hidráulica de uma Terra Roxa estruturada**. Piracicaba, 1991. 141p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1991.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TEIXEIRA, C. F. A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B.; PALMEIRA, P. R. Atributos físicos da camada superficial de um Argissolo Amarelo distrófico típico afetados por sistemas de

cultivo em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.6, p.176-180, 2000.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v.4, p.242-246, 1961.

ZONTA, E.; MACHADO, A. A. **Sistema de análise estatística para microcomputadores (SANEST)**. Pelotas: UFPel, 1984. 151p.