

Distribuição de Poros e Condutividade Hidráulica Saturada em Argissolo Submetido a Diferentes Manejos e Níveis de Compactação

**Miriam Fernanda Rodrigues⁽¹⁾; Douglas Rodrigo Kaiser⁽²⁾; Jackson Adriano
Albuquerque⁽³⁾; Dalvan José Reinert⁽⁴⁾; Maurício Kunz⁽⁵⁾; & José Miguel Reichert⁽⁴⁾**

(1) Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal, bolsista CNPq, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), miriamf_rodrigues@yahoo.com.br (apresentadora do trabalho); (2) Doutorando do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da UFSM, Bolsista CAPES, douglasrodrigokaiser@gmail.com; (3) Professor do Depto de Solos e Recursos Naturais da UDESC, jackson@cav.udesc.br; (4) Professor do Depto de Solos da UFSM, Pesquisador do CNPq, dalvanreinert@gmail.com, reichert@smail.ufsm.br; (5) Mestrando do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da UFSM, Bolsista CAPES.

RESUMO: O manejo e a compactação alteram a estrutura do solo e, assim, o movimento da água e gases no solo. Neste trabalho, avaliou-se o efeito de sistemas de manejo e de níveis de compactação sobre a porosidade, densidade e a condutividade hidráulica do solo saturado. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram: plantio direto (PD); plantio direto com tráfego adicional (PDc); escarificação (Esc); subsolagem (Sub); e preparo convencional (PC). O PDc apresentou maior densidade (Ds) e menor porosidade total (Pt) e macroporos (Mac) até 0,40 m de profundidade. A Esc, Sub e o PC reduziram a Ds e aumentaram a Pt. A Ksat teve correlação positiva com Pt e Mac e negativa com Ds. Para uma porosidade mínima de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a Ksat foi de $10,6 \text{ mm h}^{-1}$ sendo necessário que a Ds esteja abaixo de $1,67 \text{ Mg m}^{-3}$ e a Pt acima de $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No PDc a Ds, Pt e Mac encontram-se fora dos valores de referência considerados adequados para as culturas.

Palavras-chave: Densidade do solo, macroporos, plantio direto.

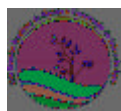
INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água para as plantas é dependente da distribuição da precipitação no tempo e da capacidade do solo reter e disponibilizar água. Anualmente, grandes extensões de terras sob matas e campo nativo são incorporadas ao sistema de produção agrícola, enquanto que outras áreas são abandonadas,

devido aos elevados níveis de degradação, resultantes do manejo inadequado. Em ambientes agrícolas, a entrada de água no solo é fundamental para que a mesma atinja camadas mais profundas, permitindo a recarga do lençol freático e o armazenamento na zona explorada pelas raízes.

A retenção e a condução de água no solo são favorecidas por um sistema poroso, estável e bem distribuído no perfil. Os poros maiores são responsáveis pela aeração do solo e pela condução de água em condições saturadas, enquanto que os poros menores atuam na retenção e condução de água em condições não saturadas. Segundo Ribeiro et al. (2007), a redução da proporção de poros maiores pode restringir o fluxo saturado de água no solo.

O manejo do solo e o tráfego de máquinas agrícolas alteram as características do sistema poroso e a condutividade hidráulica. Quando o solo é revolvido, sua estrutura é alterada, e um novo sistema poroso é formado, normalmente, com poros maiores desconectados e em grande quantidade. O solo mantido sob semeadura direta apresenta o sistema poroso estável e contínuo, devido à maior atividade biológica e a ciclagem de raízes. No entanto, quando solos sob semeadura direta são trafegados, a pressão exercida pelos pneus das máquinas é transmitida ao solo, resultando numa compactação adicional. O impacto do tráfego sob o sistema poroso, e a profundidade atingida vão depender da pressão exercida e da umidade do solo. Neste trabalho, avaliou-se o efeito de manejos e níveis de compactação sobre a densidade, porosidade e condutividade hidráulica do solo saturado.



MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Solos da UFSM, em Santa Maria-RS. O clima da região, segundo a classificação de Köepen, é subtropical úmido, tipo "Cfa". O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico (Embrapa, 1999) (Typic Hapludalf), cuja análise granulométrica indicou valores médios de 106 g kg^{-1} de argila, 240 g kg^{-1} de silte e 654 g kg^{-1} de areia (classe textural franco arenosa) até a profundidade de 0,3 m.

A área utilizada para o experimento vinha sendo cultivada no sistema de semeadura direta desde o ano de 2004. Antes de ser incorporada ao sistema produtivo, essa área foi mantida em pousio por 15 anos, predominado na área, gramíneas nativas. O experimento consistiu de sistemas de manejos e níveis de compactação com os tratamentos: plantio direto (PD); plantio direto com tráfego adicional por 2 passadas sobrepostas de uma pá carregadeira de 8 toneladas (PDC); Escarificação até 0,15 m de profundidade (Esc), Subsolagem até 0,35 m de profundidade (Sub); e Preparo convencional com lavração até 0,35 m de profundidade e gradagem superficial (PC). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 4 repetições.

Para avaliar a densidade, a porosidade e a condutividade hidráulica saturada, coletaram-se amostras com estrutura preservada, no início (11/2007) e no final (02/2008) do ciclo do milho, em cilindros metálicos com 0,057 m de diâmetro e 0,04 m de altura, nas camadas de 0,0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,30; 0,30 a 0,40; 0,40 a 0,50 e 0,50 a 0,60 m, na primeira avaliação. Na segunda avaliação, as duas últimas camadas não foram amostradas, por ficarem fora da zona de efeito dos tratamentos.

No laboratório as amostras foram saturadas pesadas e submetidas às tensões de 1, 6 e 10 kPa na mesa de tensão (Oliveira, 1968) e 33 e 100 kPa em Câmara de Richards, para calcular a distribuição de poros pela equação fundamental da capilaridade. Após, as amostras foram novamente saturadas e determinou-se a condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) em permeâmetro de carga variável, sendo a amostra submersa na água. No final, as amostras foram

secas em estufa a 105° C até peso constante para determinar a densidade do solo (Ds).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição de normalidade. A Ksat teve que passar por transformação logarítmica para seguir a distribuição normal. Também se fez uma análise correlação de Pearson entre Ksat com os demais atributos avaliados, estabelecendo regressões entre esses parâmetros. Procedeu-se a análise de variância e comparação de médias utilizando-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade (SAS, 2002).

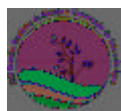
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tráfego adicional (PDC) sobre o solo no plantio direto alterou significativamente a Ds nas camadas superficiais (0 a 0,10 m) (Tabela 1). O PC e o Sub reduziram a Ds até 0,30 m de profundidade, enquanto o efeito da Esc foi apenas na superfície (0,10 m). Na segunda época (final do ciclo do milho), é possível observar que os tratamentos que foram revolvidos (Sub, Esc e PC) tiveram densidades semelhantes ao PD, indicando um processo de reconsolidação do solo no tempo.

A Pt foi reduzida pela compactação (PDC) apenas na superfície (0,05 m). A lavração do solo (PC) aumentou a Pt até os 0,30 m. Já a Esc e Sub não alteraram a Pt do solo (Tabela 2). O maior efeito do PC ocorreu sobre a quantidade de macroporos até os 0,20 m. A compactação adicional (PDC) e a Esc e Sub não tiveram efeito significativo sobre a Mac, em relação ao PD. O efeito do manejo e da compactação praticamente desapareceu na segunda época avaliada. Apenas o PC apresenta uma quantidade de macroporos significativamente maior na superfície (0,05 m), e nas demais camadas e manejos o comportamento é semelhante. (Tabela 2).

A Ksat teve uma grande variação entre tratamentos e entre camadas, o que pode ser comprovado pelo alto coeficiente de variação (CV). De maneira geral, observa-se que o PC teve maior Ksat até os 0,20m, onde também se observou maior quantidade de macroporos (Tabela 2). Nos demais tratamentos e camadas, o comportamento foi semelhante estatisticamente, sendo o mesmo comportamento observado para a segunda época.

A Ds, a Pt e a Mac foram os parâmetros que melhoram se correlacionam com a Ksat do solo (Tabela 3), indicando que qualquer efeito de manejo sobre esses parâmetros, vai refletir na Ksat do solo. A



porcentagem de microporos e das demais classes de poros não teve correlação significativa com a Ksat, e foram pouco afetadas pelo manejo.

A Ksat é uma propriedade dinâmica do solo e o seu comportamento será determinado pelo grau de compactação que o solo apresenta e pela quantidade e continuidade dos poros, principalmente macroporos. À medida que aumenta a Ds, devido à compactação do solo, diminui a porosidade total e o volume de macroporos (Figura 1b). O volume de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporos vem sendo utilizado como padrão na literatura (Tormena et al, 1998; Collares et al, 2006), por ser considerado suficiente para uma boa aeração do solo. Esse volume de macroporos no solo em estudo representaria uma Ksat de apenas $10,6 \text{ mm h}^{-1}$. Para uma Ksat de $10,6 \text{ mm h}^{-1}$, a Pt do solo mínima deve ser de $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a Ds máxima que o solo pode apresentar é de $1,67 \text{ Mg m}^{-3}$. Tomando esses valores (Ksat = $10,6 \text{ mm h}^{-1}$, Ds = $1,67 \text{ Mg m}^{-3}$, Pt = $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e macro = $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), verifica-se que as maiores limitações ocorrem no tratamento com a compactação adicional do solo (PDc), pois são verificados maiores valores de Ds e menores valores de Pt, Mac e Ksat, principalmente nas camadas de 0,05 a 0,40 m, onde normalmente situa-se a camada compactada dos solos sob plantio direto (Collares et al. 2006). A grande dispersão dos pontos e o baixo coeficiente de determinação (R^2) apresentado na figura 1 a, indica que além do volume de poros a sua continuidade no perfil é fundamental para a drenagem e distribuição de água no solo.

CONCLUSÕES

A condutividade hidráulica saturada apresentou correlação positiva com porosidade total e macroporosidade e negativa com a densidade do solo;

Para uma macroporosidade mínima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a densidade crítica é de $1,67 \text{ Mg m}^{-3}$ e a porosidade total crítica é de $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$;

O PDc tem a maior densidade e menor porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada, e Ds e menor Pt, Mac e Ksat, considerados limitantes em relação aos valores de referência estabelecidos;

REFERÊNCIAS

- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade do feijoeiro num Argissolo. Pesq. Agrop. Bras. 41:1663-1674, 2006.
- OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. Pesq. Agrop. Bras. 3:197-200, 1968.
- RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B. & SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. Ciência e Agrotecnologia 31. 2007.
- SAS INSTITUTE. Getting started with the SAS learning edition. Cary: SAS, 2002. 200p.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. Rev. Bras. Ci. Solo. 22:573-581, 1998.

Tabela 1. Densidade do solo em diferentes manejos e níveis de compactação do solo.

Camada (m)	Tratamentos										CV (%)	
	PDc		PD		Esc		Sub		PC			
	Épocas da coleta											
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Densidade do solo (Mg m ⁻³)												
0,0 – 0,05	1,57a	1,59a	1,41bc	1,4b	1,41bc	1,42 b	1,46ab	1,45 b	1,31 c	1,36 b	6,2	5,8
0,05 – 0,10	1,70a	1,66a	1,64 a	1,64b	1,63ab	1,60ab	1,51bc	1,55 b	1,48 c	1,57ab	5,4	4,3
0,10 – 0,20	1,69a	1,70a	1,61 a	1,62ab	1,66 a	1,61ab	1,61 a	1,60ab	1,43 b	1,57 b	4,2	4,7
0,20 – 0,30	1,68a	1,66a	1,63ab	1,62 a	1,63ab	1,63 a	1,52 c	1,57 a	1,59bc	1,59 a	3,5	3,9
0,30 – 0,40	1,71a	1,63b	1,69 a	1,61 b	1,66 a	1,71 a	1,64 a	1,60 b	1,62 a	1,68ab	4,1	3,5
0,40 – 0,50	1,64a	-	1,58 a	-	1,57 a	-	1,55 a	-	1,61 a	-	3,4	-
0,50 – 0,60	1,62a	-	1,58ab	-	1,56ab	-	1,51 b	-	1,60ab	-	4,5	-



* Médias seguidas de mesma letra na linha, entre épocas iguais, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

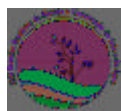


Tabela 2. Porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada do solo em diferentes manejos e níveis de compactação do solo.

Camada (m)	Tratamentos											
	PDc		PD		Esc		Sub		PC		CV (%)	
	Épocas da coleta											
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Porosidade total (m³ m⁻³)												
0,0 –0,05	0,39 b	0,38b	0,45 a	0,43a	0,45 a	0,47a	0,45a	0,44a	0,48a	0,47a	7,5	7,4
0,05 - 0,10	0,33 c	0,36a	0,36 c	0,37a	0,37bc	0,39a	0,42ab	0,40a	0,43a	0,39a	9,2	8,2
0,10 - 0,20	0,34 b	0,35a	0,37 b	0,37a	0,35 b	0,38a	0,37b	0,38a	0,44a	0,39a	7,5	8,9
0,20 –0,30	0,35 b	0,36a	0,37 b	0,37a	0,37 b	0,38a	0,41a	0,38a	0,39ab	0,39a	6,0	7,1
0,30 –0,40	0,33 a	0,37a	0,35 a	0,37a	0,35 a	0,34a	0,37a	0,38a	0,37a	0,35a	7,1	6,9
0,40 –0,50	0,36 a	-	0,39a	-	0,39 a	-	0,39 a	-	0,37a	-	6,0	-
0,50 –0,60	0,37 a	-	0,39 a	-	0,39 a	-	0,42a	-	0,38a	-	7,9	-
Macroporosidade (m³ m⁻³)												
0,0 –0,05	0,11b	0,09b	0,17b	0,14ab	0,17b	0,19a	0,16b	0,18ab	0,25a	0,22 a	24,5	39,2
0,05- 0,10	0,07c	0,09a	0,12bc	0,10 a	0,13ab	0,12 a	0,15ab	0,14 a	0,17a	0,12a	28,4	27,9
0,10- 0,20	0,10b	0,09a	0,14ab	0,11 a	0,11b	0,12a	0,11b	0,13a	0,20a	0,13 a	22,1	25,2
0,20 –0,30	0,10b	0,11 a	0,14a	0,12 a	0,14ab	0,12a	0,17a	0,14 a	0,14ab	0,13 a	23,0	23,2
0,30 –0,40	0,11a	0,10 a	0,10a	0,12 a	0,11a	0,08 a	0,11 a	0,12 a	0,13a	0,08 a	30,9	25,6
0,40 –0,50	0,12 ab	-	0,16ab	-	0,15a	-	0,15ab	-	0,11b	-	21,6	-
0,50 –0,60	0,14 ab	-	0,16b	-	0,17a	-	0,16ab	-	0,13b	-	18,1	-
Condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹)												
0,0 –0,05	89,9b	18,3b	242,0a	106,0a	141,8a	162,5a	208,1a	82,7ab	293,6a	162,2a	78,7	81,9
0,05- 0,10	31,65a	28 ,0a	47,8a	32,6a	153,2a	47,7a	142,1a	98,0a	98,3a	55,8a	158,6	108,
0,10- 0,20	49,3b	12,4a	55,34b	26,0a	10,6b	141,4a	13,8b	66,9a	37,4a	75,4a	140,8	178,
0,20 –0,30	6,1a	1,76a	22,2a	101,0a	9,9a	40,0a	52,0a	27,7a	46,3a	46,0a	218,7	215,
0,30 –0,40	6,13a	11,1a	61,0a	93,6a	5,8a	31,3a	44,9a	40,9a	12,9a	16,5a	323,1	264,
0,40 –0,50	7,53a	-	8,8a	-	6,24a	-	10,7 a	-	14,2a	-	93,0	81,9
0,50 –0,60	5,29b	-	8,9ab	-	12,7ab	-	35,0 a	-	6,1ab	-	218,1	108,

* Médias seguidas de mesma letra na linha, entre épocas iguais, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre a condutividade hidráulica saturada do solo com a densidade e classes de poros do solo.

Parâmetro	Ds	Pt	Mac	Mic	Diâmetro de poros (μm)					
					> 297	297–50	50–30	30–10	10–3	<3
Ksat	-0,55**	0,54**	0,53**	-0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,11*	-0,03 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,05 ^{ns}

* significativo a 5%; ** significativo a 1% e ns = não significativo.

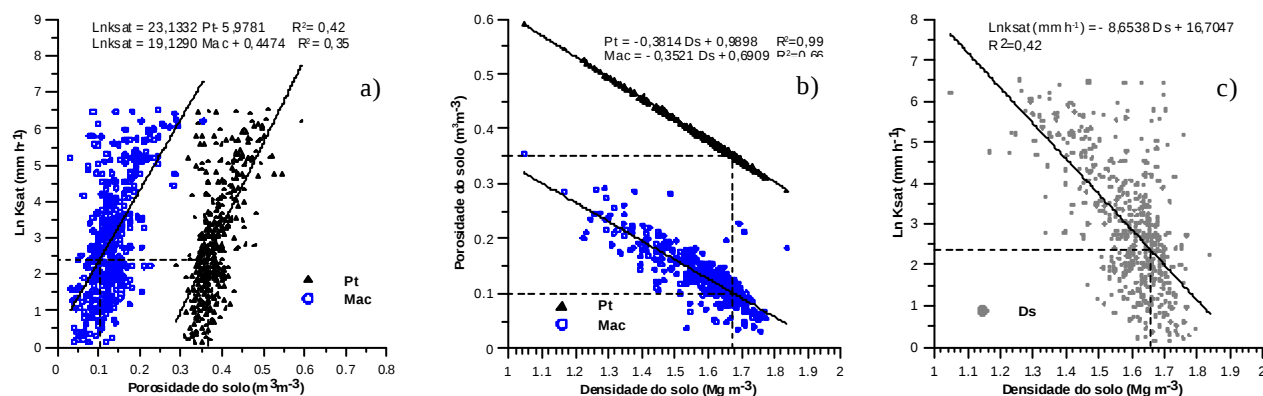


Figura 1. Relações entre a porosidade do solo e a condutividade hidráulica do solo saturado (a); da porosidade com a densidade do solo (b) e da condutividade hidráulica com a densidade do solo (c).