



Condutividade de Ar em Argissolo Submetido a Diferentes Manejos e Níveis de Compactação

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

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

RESUMO: As trocas gasosas entre a atmosfera e o espaço aéreo do solo são fundamentais para a respiração das raízes e para o metabolismo microbiano. Neste trabalho, avaliou-se o efeito de sistemas de manejo e de níveis de compactação na condutividade de ar no solo (K_i) e a sua relação com a macroporosidade (Mac), porosidade total (Pt) e densidade (D_s). 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). Na camada de 0 a 0,10 m ocorreu a maior K_i , em ambos manejos. Estatisticamente não houve diferença entre os manejos, na maioria das camadas, mas a tendência foi de aumentar a K_i , com o revolvimento do solo. Na segunda época, os valores de K_i foram menos variáveis entre os manejos, indicando um processo de reconsolidação. A K_i teve correlação positiva com a Pt e Mac e negativa com a D_s . Para uma porosidade mínima de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a K_i é de $8,05 \text{ mm h}^{-1}$ sendo necessário que a D_s esteja abaixo de $1,68 \text{ Mg m}^{-3}$ e a Pt acima de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No PDc a D_s , Pt e Mac estão fora dos valores de referência considerados adequados para as culturas.

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

INTRODUÇÃO

As plantas para terem um desenvolvimento adequado necessitam que o solo forneça água, nutrientes e oxigênio. O fluxo de ar e de água no solo é determinado pelo arranjo e continuidade do sistema poroso. A quantidade e a proporção do tamanho de poros são fundamentais para que se tenha um equilíbrio entre a retenção e condução de água e as trocas gasosas (Grable & Siemer,

1968). Além do suprimento de oxigênio para a respiração das raízes, as trocas gasosas determinam o tipo de metabolismo microbiano que predominará no solo. Os macroporos são responsáveis pela condução de água em condições saturadas. Em solo saturado as trocas gasosas são reduzidas, ficando restrita apenas a difusão de gases na água. À medida que o solo vai secando, os poros maiores vão sendo ocupados por ar, desde que exista uma comunicação com a atmosfera externa. Dessa forma, é importante que o solo seja manejado de forma a permitir um equilíbrio entre a quantidade de microporos e macroporos. Além disso, é importante que esses poros sejam contínuos, para facilitar o rápido fluxo de água em condições saturadas, e permitir a entrada de ar no solo.

O manejo do solo e o tráfego de máquinas agrícolas alteram as características do sistema poroso, podendo interferir nas trocas gasosas do solo. Neste trabalho, avaliou-se o efeito de manejos e níveis de compactação sobre a densidade, porosidade e na condutividade de ar no solo.

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 Köppen, é subtropical úmido, tipo "Cfa". O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico (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 8,5 toneladas (PDc); Escarificação até 0,15 m de profundidade (Esc), Subsolação 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 o fluxo de ar no solo, coletaram-se amostras com estrutura preservada, no início (11/2007) e no final (02/2008) do ciclo do milho, em anéis 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 e 33 e 100 kPa em Câmara de Richards, para calcular a distribuição do tamanho de poros pela equação fundamental da capilaridade. Após o equilíbrio em cada tensão, mediu-se o fluxo de ar nas amostras, utilizando-se um permeâmetro de carga constante de ar. O equipamento é composto por uma série de fluxímetros com diferentes vazões, por onde o ar flui antes de passar pelo solo (Vossbrink, 2004). O ar é aplicado a baixa pressão (0,1 kPa) e constante, para evitar o fluxo turbulento. O gradiente de pressão entre o ambiente e o ar que flui pela amostra é medido por um manômetro de água. A condutividade do ar no solo (K_i) é calculada usando-se a equação:

$$K_i = r_i \cdot g \frac{\Delta V \cdot l}{\Delta t \cdot \Delta p \cdot A}, \text{ onde:}$$

K_i = condutividade ao ar (cm s^{-1})

ρ_i = densidade do ar no momento da medida (g cm^{-3})

g = aceleração da gravidade (981 cm s^{-2})

ΔV = quantidade de ar que passa na amostra na Δt ($\text{cm}^3 \text{ s}^{-1}$)

l = altura da amostra (cm)

Δp = pressão do ar que passa pela amostra ($1000 \text{ dinas cm}^{-2}$)

A = área do cilindro (cm^2)

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a distribuição de normalidade.

A K_i teve que passar por transformação logarítmica para seguir a distribuição normal. Também se fez uma análise de correlação de Pearson entre K_i com os demais atributos avaliados, após estabeleceu-se regressões entre os 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

A K_i teve uma grande variação, sendo que o CV variou de 70 a 568 % (Tabela 1), o que é um reflexo da grade diversidade no tamanho, proporção, forma e continuidade dos poros do solo. Na camada de 0 a 0,10 m ocorreu a maior K_i , em ambos manejos. Estatisticamente não houve diferença entre os manejos, na maioria das camadas, mas a tendência foi de aumentar a K_i , com o revolvimento do solo. Na segunda época, os valores de K_i foram menos variáveis entre os manejos, indicando um processo de reconsolidação. Também se observa a tendência da K_i ser maior nas camadas do PC e Sub, o que possibilita uma melhor aeração e respiração das raízes das camadas mais profundas.

Os poros maiores do que 50 μm são os principais responsáveis pelo fluxo de ar no solo. (Tabela 1). A K_i teve correlação positiva com a Pt e Mac e negativa com a Ds e Mic (Tabela 2). Para uma porosidade mínima de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a K_i é de $8,05 \text{ mm h}^{-1}$ sendo necessário que a Ds esteja abaixo de $1,68 \text{ Mg m}^{-3}$ e a Pt acima de $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 1).

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). 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. 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. No PDc a Ds, Pt e Mac estão fora dos valores de referência, considerados adequados para as culturas.

CONCLUSÕES

A condutividade do solo ao ar apresentou correlação positiva com porosidade total e macroporosidade e negativa com a densidade e microporosidade do solo;

Os macroporos ($> 50 \mu\text{m}$) são os principais condutores de ar no 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 $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$;

O PDc tem a maior densidade e menor porosidade total, macroporosidade, considerados limitantes em relação aos valores de referência estabelecidos.

REFERÊNCIAS

GRABLE & SIEMER. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, rdox potentials and elongation of corn roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc.32:180-186, 1968.

SAS INSTITUTE. Getting started with the SAS learning edition. Cary: SAS, 2002. 200p.

VOSSBRINK, J. Bodenspannungen und Deformationen in Waldböden durch Ernteverfahren. 2004. 63 f. Schriftenreihe (Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde)- Christian Albrechts Universität Kiel, Kiel.

Tabela 1. Contribuição das classes de poros na condutividade de ar no solo

| Clas | Tratamentos | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-----------|-----|
| | PDc | | PD | | Esc | | Sub | | PC | | CET (g/g) | |
| | Épocas da coleta | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 0.00 - 0.05 | | | | | | | | | | | | |
| >297 | 17.87a | 0 | 36.74a | 0 | 11.49a | 0 | 18.33a | 0 | 32.06a | 0 | 225 | - |
| 297 | 12.0a | 3.7b | 70.1a | 36.9ab | 38.8a | 43.1a | 69.8a | 38.1ab | 169.1a | 71.8a | 101 | 121 |
| 50 a | 12.9a | 12.6a | 15.4a | 5.3a | 10.9a | 11.1a | 95.7a | 8.9a | 43.8a | 8.5a | 175 | 115 |
| 30 a | 8.0a | 5.3a | 16.7a | 13.2a | 28.1a | 18.3a | 31.6a | 8.6a | 63.2a | 7.0a | 137 | 120 |
| 10 a | 9.9a | 5.4a | 44.3a | 14.1a | 22.1a | 15.9a | 50.2a | 11.2a | 86.2a | 23.4a | 94 | 137 |
| 0.05 - 0.10 | | | | | | | | | | | | |
| >297 | 4.30a | 0 | 6.03a | 0 | 38.23a | 0 | 16.70a | 0 | 12.71a | 0 | 251 | - |
| 297 | 5.49a | 12.1a | 11.61a | 10.9a | 27.8a | 19.7a | 61.8a | 26.3a | 58.0a | 20.5a | 144 | 91 |
| 50 a | 2.5a | 6.5a | 7.1a | 5.7a | 4.6a | 8.9a | 6.4a | 8.6a | 16.4a | 7.8a | 111 | 114 |
| 30 a | 7.3a | 7.2a | 7.2a | 8.1a | 18.4a | 9.7a | 40.2a | 14.7a | 22.4a | 14.7a | 135 | 82 |
| 10 a | 4.1a | 10.0a | 7.1a | 11.8a | 36.1a | 6.9a | 20.5a | 6.5a | 26.0a | 14.8a | 168 | 101 |
| 0.10 - 0.20 | | | | | | | | | | | | |
| >297 | 2.95b | 0 | 6.01b | 0 | 2.68b | 0 | 10.0ab | 0 | 46.9a | 0 | 157 | - |
| 297 | 8.6a | 3.4b | 8.1a | 9.5ab | 7.4a | 41.7a | 13.6a | 25.8a | 73.7a | 58.6a | 78 | 162 |
| 50 a | 3.8a | 3.7a | 20.9a | 5.2ab | 4.5a | 8.2b | 4.2a | 16.9ab | 29.4a | 9.9ab | 197 | 99 |
| 30 a | 10.3a | 3.8a | 3.5a | 8.1a | 5.8a | 7.9a | 6.5a | 12.3a | 51.7a | 21.7a | 104 | 149 |
| 10 a | 10.9a | 7.0a | 7.1a | 6.8a | 7.0a | 12.3a | 10.9a | 9.9a | 39.7a | 16.5a | 70 | 91 |
| 0.20 - 0.30 | | | | | | | | | | | | |
| >297 | 0.0a | 0.0a | 0.80a | 0.0 | 0.14a | 0.0 | 63.5a | 0.0 | 2.00a | 0.0 | 568 | - |
| 297 | 7.9a | 17.2a | 10.9a | 14.1a | 10.3a | 16.9a | 50.0a | 14.5a | 16.2a | 39.6a | 126 | 143 |
| 50 a | 1.8a | 2.8a | 6.1a | 5.6a | 4.7a | 8.0a | 10.9a | 7.3a | 3.1a | 11.0a | 140 | 132 |
| 30 a | 6.9a | 11.3a | 5.8a | 8.0a | 18.5a | 5.2a | 66.8a | 8.7a | 2.7a | 26.0a | 191 | 94 |
| 10 a | 4.2ab | 4.8a | 5.5ab | 6.3a | 4.7a | 8.4a | 156.6a | 8.9a | 5.4a | 19.8a | 278 | 132 |
| 0.30 - 0.40 | | | | | | | | | | | | |
| >297 | 33.4a | | 0.0a | | 0.0a | | 5.49a | | 42.0a | | 509 | - |
| 297 | 3.5a | 6.9a | 2.0a | 15.7a | 4.4a | 16.4a | 7.0a | 21.3a | 10.3a | 9.5a | 122 | 108 |
| 50 a | 1.4a | 5.4a | 1.1a | 10.7a | 2.7a | 3.2a | 10.8a | 9.4a | 3.9a | 6.2a | 158 | 133 |
| 30 a | 2.3a | 9.9a | 1.6a | 7.5a | 2.3a | 3.9a | 25.2a | 18.7a | 3.7a | 10.1a | 248 | 111 |
| 10 a | 2.8a | 6.9a | 3.1a | 6.9a | 4.4a | 6.9a | 6.4a | 8.2a | 6.6a | 22.6a | 83 | 98 |
| 0.40 - 0.50 | | | | | | | | | | | | |
| >297 | 0.34a | | 0.0a | | 0.34a | | 0.0a | | 0.40a | | 364 | |
| 297 | 5.4b | | 13.8ab | | 8.3ab | | 16.1a | | 6.0ab | | 78 | |
| 50 a | 3.9a | | 5.6a | | 18.1a | | 5.6a | | 4.2a | | 235 | |
| 30 a | 3.8a | | 3.8a | | 19.6a | | 22.1a | | 3.4a | | 229 | |
| 10 a | 6.3a | | 8.7a | | 6.9a | | 8.7a | | 3.8a | | 90 | |
| 0.50 - 0.60 | | | | | | | | | | | | |
| >297 | 0.30a | | 0.0a | | 2.46a | | 0.26a | | 30.1a | | 506 | |
| 297 | 13.1ab | | 15.7ab | | 12.9b | | 35.6a | | 17.5b | | 104 | |
| 50 a | 4.1a | | 6.1a | | 8.5a | | 8.6a | | 2.7a | | 89 | |
| 30 a | 4.7a | | 2.0a | | 4.7a | | 25.0a | | 5.5a | | 132 | |
| 10 a | 4.2a | | 4.8a | | 13.8a | | 17.4a | | 3.7a | | 131 | |

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

Tabela 2 Coeficientes de correlação de Pearson entre a condutividade do solo ao ar com a densidade e classes de tamanho de poros do solo.

| Tensão kPa | Ds | Pt | Mac | Mic | Diâmetro de poros (μm) | | | | | |
|---------------|--------|-------|-------|--------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | | | > 297 | 297 - 50 | 50 - 30 | 30 - 10 | 10 - 3 | < 3 |
| -1 | -0,17* | 0,18* | 0,21* | -0,11* | 0,02 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,06 ^{ns} |
| -6 | -0,53* | 0,55* | 0,59* | -0,18* | 0,07 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,07 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | -0,09 ^{ns} |
| -10 | -0,56* | 0,57* | 0,60* | -0,15* | 0,03 ^{ns} | -0,02 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,09 ^{ns} | -0,10 ^{ns} |
| -33 | -0,60* | 0,62* | 0,63* | -0,15* | 0,05 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,05 ^{ns} | -0,10 ^{ns} | -0,11 ^{ns} |
| -100 | -0,58* | 0,59* | 0,61* | -0,14* | 0,04 ^{ns} | 0,02 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,06 ^{ns} | -0,08 ^{ns} | -0,09 ^{ns} |

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

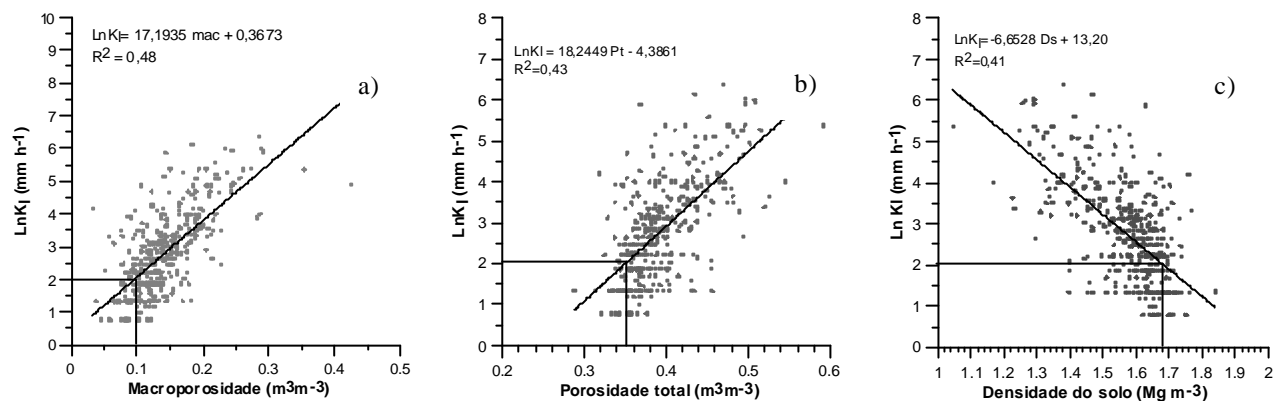


Figura 1. Relações entre a macroporosidade e a condutividade do solo ao ar (a); da porosidade total com a condutividade do solo ao ar (b) e da condutividade do solo ao ar com a densidade do solo (c).

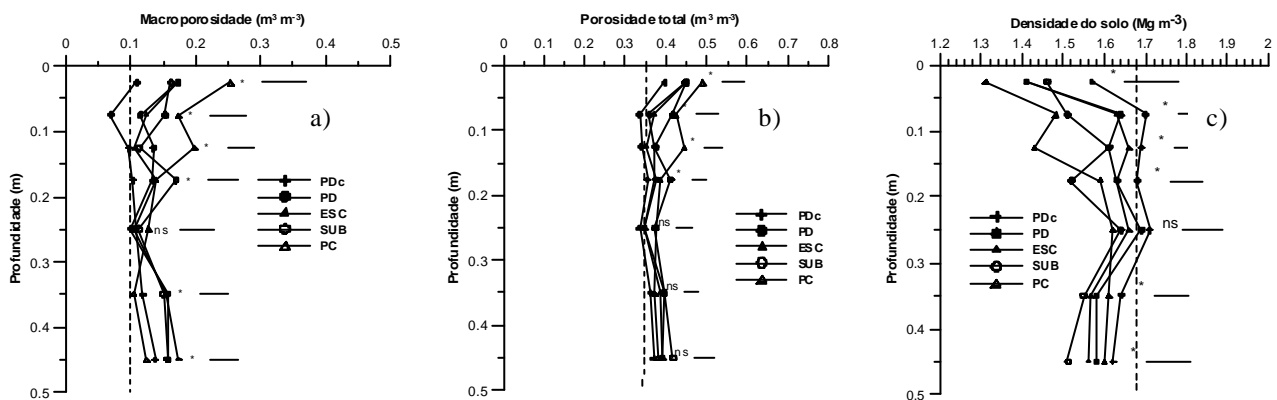


Figura 2. Macroporosidade (a), porosidade total (b) e densidade do solo (c) em diferentes manejos e níveis de compactação do solo. As linhas pontilhadas representam os valores de referência estabelecidos na figura 1.