



## COMPARAÇÃO DE DUAS METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO AO AR

*Wagner Henrique Moreira<sup>1</sup>, Edner Betioli Junior<sup>1</sup>, Cássio Antônio Tormena<sup>2</sup>, Jonez Fidalski<sup>3</sup>, Renato Yagi<sup>4</sup>*

**RESUMO:** A permeabilidade do solo ao ar ( $K_a$ ) é definida como a capacidade de transmissão de gases através de poros interconectados em resposta a um gradiente de pressão. Para avaliação da  $K_a$  são utilizados equipamentos denominados permeômetros. Estes equipamentos promovem a movimentação de ar através de uma coluna de solo, gerando um gradiente de pressão em relação à atmosfera. O objetivo do trabalho foi comparar os resultados de  $K_a$  obtidos nas metodologias descritas por Silva et al. (2009) e Figueiredo (2010). O equipamento utilizado na primeira metodologia apresenta menor custo e exige maior tempo para obter a  $K_a$ . Foram coletadas 48 amostras indeformadas de um Latossolo Vermelho distroférrico típico na Estação Experimental de Pato Branco do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). As amostras foram saturadas e submetidas a um potencial de -10 kPa, posteriormente foi realizada a determinação da  $K_a$  pela metodologia descrita por Figueiredo (2010) e em seguida pela metodologia descrita por Silva et al., 2009. As médias da  $K_a$  não apresentaram diferenças estatísticas. A regressão linear entre os valores de  $K_a$  obtidos pelas duas metodologias mostrou grande similaridade entre ambas. Os índices utilizados para comparação das metodologias permitem afirmar que ambas possuem precisão semelhante e a escolha da metodologia depende fundamentalmente do aspecto econômico e do tempo de determinação da  $K_a$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Estrutura do solo, fluxo de gases no solo, permeômetros.

### 1 INTRODUÇÃO

A permeabilidade do solo ao ar ( $K_a$ ) é definida como a capacidade de transmissão de gases através de poros interconectados em resposta a um gradiente de pressão. A  $K_a$  é dependente da fração do espaço poroso com ar (McQueen & Shepherd, 2002) e portanto altamente dependente das modificações na distribuição dos macroporos do solo. Desta forma, alterações em  $K_a$  sugerem mudanças na qualidade do ambiente físico para o crescimento de plantas e na taxa de processos dependentes da concentração de gases no solo (Silva et al., 2009).

Para avaliação da  $K_a$  são utilizados equipamentos denominados permeômetros. Estes equipamentos promovem a movimentação de ar através de uma coluna de solo, gerando um gradiente de pressão em relação à atmosfera. Dentre as formas de

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Avenida Colombo, 5790. CEP 87020-900 Maringá (PR). e-mail: wh.moreira@hotmail.com; betioli.jr@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor associado do Departamento de Agronomia, UEM. Bolsista do CNPq. e-mail: catormena@uem.br.

<sup>3</sup> Pesquisador; Área de Solos; Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Rua Paulo Antonio da Costa, s/n, Jardim Ipê, Paranavaí, PR, Cx. Postal 564, CEP 87701-970. E-mail: fidalski@iapar.br.

<sup>4</sup> Pesquisador; Área de Solos; Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), BR 158, km 497, Bairro Bom Retiro, Pato Branco, PR, Cx. Postal 510, CEP 85505-970. E-mail: ryagi@iapar.br.

determinação da  $K_a$  destacam-se a metodologia utilizada por Silva et al (2009) e a metodologia descrita por Figueiredo (2010).

A metodologia utilizada por Silva et al (2009) é uma adaptação da metodologia de McKenzie e Dexter (1996) e baseia-se no princípio da quantificação do decréscimo da pressão em função do tempo, o qual é proporcional ao fluxo de ar que atravessa a amostra.

Já a metodologia adaptada por Figueiredo et al. (2010) e proposta por Ball & Schojonning (2002) consiste na utilização de uma amostra de solo com fluxo de gases em suas extremidades, a qual é submetida a incrementos sucessivos e constantes de taxas de fluxo de ar para gerar distintos gradientes de pressão.

O objetivo do trabalho foi comparar os resultados de  $K_a$  obtidos nas metodologias descritas por Silva et al (2009) e Figueiredo (2010).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A amostragem foi realizada num Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa ( $620 \text{ g kg}^{-1}$  de argila), relevo plano a suave ondulado, na Estação Experimental de Pato Branco do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

As amostras foram coletadas em 09/06/2011, nas profundidades intermediárias de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, num experimento de avaliação do efeito do revolvimento do solo e incorporação da calagem em sistema de plantio direto, com o intuito de aumentar a variabilidade do conjunto de dados e proporcionar a comparação da eficiência das metodologias para a determinação da  $K_a$ .

Foram coletadas cuidadosamente 48 amostras indeformadas por meio de introdução lenta, contínua e com velocidade constante de cilindros metálicos de  $100 \text{ cm}^3$ , utilizando um dispositivo hidráulico para evitar perturbação mecânica no solo, sem causar alterações nas características do sistema poroso. As amostras foram envolvidas com filme plástico e acondicionadas em caixas plásticas para evitar evaporação de água e alterações mecânicas das mesmas.

No laboratório as amostras foram devidamente preparadas e saturadas por meio de elevação gradual de lâmina de água em bandejas. Após a saturação das amostras, as mesmas foram submetidas ao potencial de  $-10 \text{ kPa}$  utilizando uma mesa de tensão. Ao atingir o equilíbrio hidráulico, indicado pela ausência de drenagem de água, foi realizada a determinação da  $K_a$  pela metodologia descrita por Figueiredo (2010). A determinação com a metodologia da pressão decrescente (Silva et al., 2009) foi realizada imediatamente após a determinação pela primeira metodologia.

A significância das comparações de  $K_a$  entre as metodologias foram feitas utilizando o intervalo de confiança da média 95% ( $P < 0,05$ ) como critério estatístico. Quando não houve sobreposição dos limites superior e inferior do intervalo de confiança considerou-se que houve diferença significativa, conforme Payton et al. (2000).

Adicionalmente, técnicas estatísticas robustas foram utilizadas para a quantificação dos erros experimentais, ou seja, técnicas que não necessitam da distribuição normal dos dados (Tabela 1).

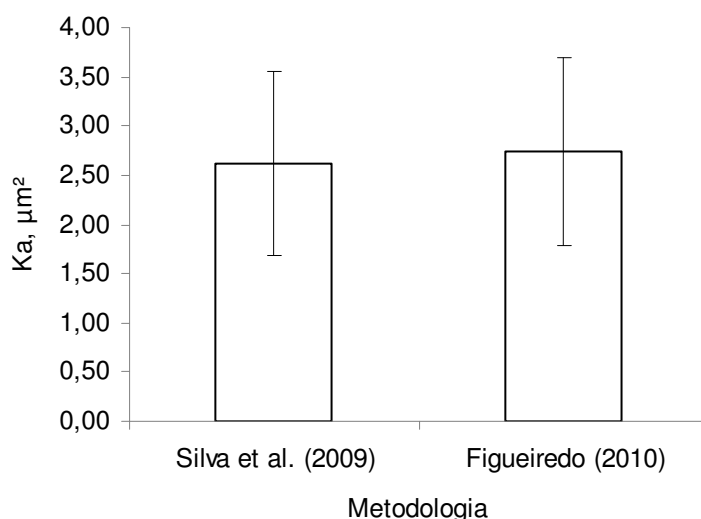
**Tabela 1.** Descrição das análises estatísticas para a quantificação dos erros experimentais.

Descrição	Equação	Num.
Índice de concordância (Legates & McCabe, 1999)	$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^N ( P_i - \bar{O}  +  O_i - \bar{O} )}$	1
Razão de desvios (Loague & Green, 1991)	$RD = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{O})^2}$	2
Eficiência do modelo (Legates & McCabe, 1999)	$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$	3
Erro absoluto médio (Willmott et al., 1985)	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N  O_i - P_i }{N}$	4
Erro máximo (Loague & Green, 1991)	$E_{max} = \max ( O_i - P_i )_{i=1}^N$	5
Coefficiente de massa residual (Loague & Green, 1991)	$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N O_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N O_i}$	6
Raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado (Legates & McCabe, 1999)	$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N} \right]^{0,5} \left( \frac{100}{\bar{O}} \right)$	7

$\bar{O} = N^{-1} \sum_{i=1}^N O_i$ ;  $O_i$  e  $P_i$  correspondem as medidas de  $K_a$  em determinada estratégia;  $N$  é o número de observações experimentais.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

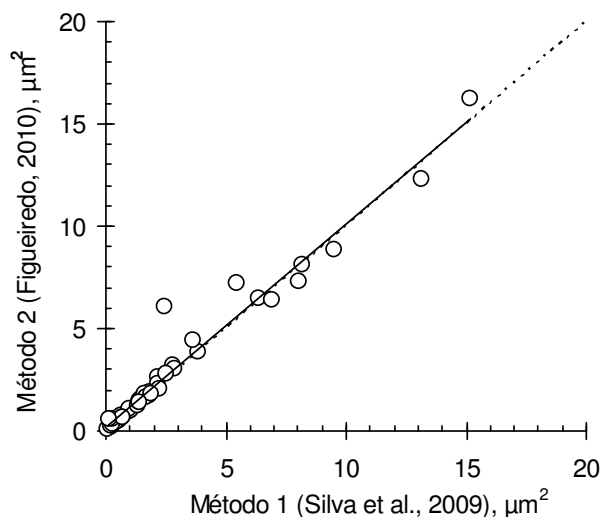
A média da permeabilidade do solo ao ar ( $K_a$ ) obtida pela metodologia de Silva et al. (2009) foi de  $2,62 \mu\text{m}^2$ , enquanto que a obtida pela metodologia de Figueiredo (2010) foi de  $2,74 \mu\text{m}^2$  (Figura1). Essa diferença entre as metodologias não se traduz em diferença estatística, uma vez que há sobreposição dos intervalos de confiança (Payton, 2000). Um valor crítico de  $K_a = 1 \mu\text{m}^2$  tem sido empiricamente estabelecido por McQueen & Shepherd (2002) como indicador de solo impermeável aos gases, sugerindo a ocorrência de condições físicas do solo limitantes para o crescimento das plantas.



**Figura 1.** Comparação entre médias de permeabilidade do solo ao ar ( $K_a$ ) obtidas com as duas metodologias. A sobreposição do intervalo de confiança indica ausência de diferença estatística.

A regressão linear entre os valores de  $K_a$  obtidos pelas duas metodologias (Figura 2) mostra que há grande similaridade das metodologias. Principalmente em função da

proximidade da linha de tendência com a reta 1:1. Tal comportamento fortalece a idéia de que não há diferença de valores de  $K_a$  na utilização entre as metodologias.



**Figura 2.** Regressão linear entre os valores de permeabilidade do solo ao ar obtidos pelas duas metodologias. A linha pontilhada representa a reta 1:1.

Na Tabela 2 são mostrados os resumos dos índices: de concordância ( $d$ ), eficiência do modelo ( $EF$ ), razão de desvios ( $RD$ ), erro absoluto médio ( $MAE$ ), erro máximo ( $E_{max}$ ), coeficiente de massa residual ( $CRM$ ) e raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado ( $RMSE$ ), que foram utilizados para avaliação da semelhança entre as metodologias. Quanto melhor o ajuste entre os dados gerados pelas estratégias, mais próximo de 1 serão os valores de  $d$ ,  $RD$  e  $EF$ . Já  $E_{max}$ ,  $MAE$ ,  $RMSE$  e  $CRM$  assumirão valores próximos de 0 quanto melhor for o ajuste.

**Tabela 2.** Resumos estatísticos para a comparação dos erros experimentais da permeabilidade do solo ao ar entre as duas metodologias.

Metodologia	Índices estatísticos							
	$R^2$	$d$	$EF$	$RD$	$MAE$	$E_{max}$	$RMSE$	$CRM$
Silva et al. (2009)								
x	0,9983	0,9899	0,9490	0,9589	0,2808	3,5848	26,1166	0,0990
Figueiredo (2010)								

$R^2$ : coeficiente de determinação;  $d$ : índice de concordância;  $EF$ : eficiência do modelo;  $MAE$ : erro absoluto médio;  $E_{max}$ : erro máximo;  $RMSE$ : raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado; e  $CRM$ : coeficiente de massa residual.

O  $R^2$  e o  $d$ , que descrevem a precisão e a exatidão, foram altamente concordantes, com valores muito próximos de 1 (condição ideal). Já o valor de  $RD$  indica a similaridade quanto à dispersão dos dados em torno de suas respectivas médias, fato confirmado pelo elevado valor de  $EF$ , que demonstra que os valores de  $K_a$  obtidos nas diferentes metodologias foram semelhantes. O  $MAE$  mostra que a magnitude dos erros relacionados ao conjunto de tratamentos se manteve estatisticamente aceitável. Enquanto o  $E_{max}$  obteve um valor alto comparado ao  $MAE$ , porém esse valor também é aceitável. Esse valor de  $E_{max}$  influenciou o  $RMSE$ , elevando seu valor. Tal resultado é função da existência de um único dado com valor de  $2,44 \mu\text{m}^2$  pela metodologia de Silva et al. (2009) e  $6,03 \mu\text{m}^2$  pela metodologia de Figueiredo (2010). A retirada desse dado reduziria para 15 o valor de  $RMSE$  e para 1,82 o  $E_{max}$  aproximando os resultados do considerado ideal. A existência desse valor pode ser decorrente de um erro no processo de vedação

da amostra no momento da avaliação. Poderia ser calculado se esse dado é um outlier ou não, todavia o objetivo do trabalho é comparar as duas metodologias e mesmo com a existência de erro experimental, todos os índices obtiveram resultados aceitáveis e mostram que os resultados obtidos nas duas metodologias são semelhantes.

Frente ao resultado exposto, a escolha da metodologia a ser usada deve considerar o aspecto econômico que apresenta grande diferença entre as metodologias, além do tempo de determinação da  $K_a$  em cada amostra. Ressalta-se que a metodologia de Silva et al. (2009) é menos onerosa porém muito mais demorada para determinação da  $K_a$ .

#### 4 CONCLUSÃO

Não houve diferença na determinação da permeabilidade do solo ao ar entre as duas metodologias avaliadas para o Latossolo Vermelho distroférico típico.

#### REFERÊNCIAS

BALL, B.C & SCHOJONNING, P. Air permeability. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (ed). **Methods of soil analysis**. 3 ed. Madison: Soil Science Society of America, 2002. pt. 4: Physical methods, p. 1141-1158.

FIGUEIREDO, G.C. **Avanços metodológicos e instrumentais em física do solo**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2010. p. 163 (Tese de Doutorado).

LEGATES, D.R. & McCABE Jr., G.J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation, **Water Res. Res.**, v. 35, p. 233-241, 1999.

LOAGUE, K. & GREEN, R.G. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. **J. Contam. Hydrol.**, v. 7, p. 51-73, 1991.

McKENZIE, B.M. & DEXTER, A.R. Methods for studying the permeability of individual soil aggregates. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 65, p. 23-28, 1996.

McQUEEN, D.J. & SHEPHERD, T.G. Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Typic Endoaquept) under varying durations of cropping, Manawatu Region, New Zealand. **Soil Till. Res.**, v. 25, p. 217-230, 2002.

PAYTON, M.E.; MILLER, A.E. & RAUN, W.R. Testing Statistical Hypotesis using standard error bars and confidence intervals. **Comm. Soil Sci. Plant. Anal.**, v. 31, p. 547-551. 2000.

SILVA, A.P.; LEÃO, T.P.; TORMENA, C.A. & GONÇALVES, A.C.A. Determinação da permeabilidade ao ar em amostras indeformadas de solo pelo método da pressão decrescente. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1535-1545, 2009.

WILLMOT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, J.J.; FEDDEMA, K.M.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J. & ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **J. Geophys. Res.**, v. 90, p. 8995-9005, 1985.