

## Otimização de sistema para avaliação da permeabilidade do solo ao ar

Renan Antunes Ferreira<sup>1</sup>, Wagner Henrique Moreira<sup>1</sup>, Wesley Tessaro Andrade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul

renanantunes14@gmail.com, wagner.moreira@ifms.edu.br, wesley.andrade@ifms.edu.br

### Resumo

A permeabilidade do solo ao ar ( $K_a$ ) é um parâmetro relevante para entender a dinâmica do ar no solo e a qualidade dos ecossistemas terrestres. Este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo para medir a  $K_a$  do solo, além de analisar formas de aquisição de dados e automação de processos. O protótipo foi desenvolvido utilizando sensores e plataforma de prototipação Arduino. O protótipo consistiu em uma câmara de contenção de ar com capacidade de 1.570 ml. A alimentação do sistema foi realizada por meio de uma pera de esfigmomanômetro, que forneceu a pressão necessária para o funcionamento do sistema. Foi possível desenvolver o protótipo para avaliação da  $K_a$  e estudar as vantagens e limitações na transferência dos dados. A obtenção de dados no celular foi restritiva, pois há possibilidade de transmissão de poucos dados por segundo, enquanto a pressão no cilindro é reduzida de forma mais rápida. Assim, ainda é necessário utilizar um computador, mas todos os objetivos foram atingidos.

**Palavras-chave:** Permeabilidade do solo ao ar, coeficiente "Ka", correlações, dinâmica do solo, conservação do solo.

### Introdução

Os atributos físicos do solo são indicadores importantes da qualidade do solo e da capacidade produtiva das culturas, englobando atributos como densidade do solo (Ds), estrutura, textura, resistência do solo à penetração (RP), percolação da água, disponibilidade de água para a cultura e  $K_a$  (Gomes e Filizola, 2006). Estes atributos são influenciados pela compactação do solo e por fatores climáticos, como chuvas intensas, altas temperaturas e pressão atmosférica (Spera, 2010). As práticas de manejo do solo, incluindo o uso e as técnicas adotadas pelo agricultor, também desempenham um papel relevante na qualidade do solo (Ramos, 2013).

A  $K_a$  é um atributo que responde de forma sensível às práticas de manejo do solo e desempenha um papel fundamental em várias funções do solo, fornecendo informações sobre as características da porosidade do solo (Phillips e Kirkham, 1962; Schjønning, 2017). Estudos anteriores exploram diferentes métodos para quantificar a  $K_a$  do solo, como o uso de cilindros de GLP como câmara de armazenamento de pressão e a medição da mesma por meio de uma célula de pressão conectada a um sistema de aquisição e processamento de dados (Silva et al., 2009).

A literatura científica indica que há espaço para o desenvolvimento de dispositivos de aquisição e processamento de dados mais avançados para medir a  $K_a$  do solo, devido a relativamente pouco estudo desenvolvido com esse propósito. Por exemplo, Ball et al. (1981) propuseram um sistema de duas câmaras com manômetro diferencial, permitindo medições em gradientes de pressão relativamente baixos. Peng e Horn (2008), Martínez et al. (2016) e Li et al. (2004) sugeriram o uso do método de queda de pressão com relação ao tempo e indicaram faixas de pressão entre 2 e 30 hPa para determinar a  $K_a$ .

Com base nessas informações, este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo para medir a  $K_a$  do solo, além de analisar formas de aquisição de dados e automação de processos.

### Metodologia

O protótipo foi desenvolvido utilizando sensores e plataforma de prototipação Arduino. Para isto, foram necessários um sensor de pressão. O protótipo consistiu em uma câmara de contenção de ar com capacidade de 1.570 ml. A alimentação do sistema foi realizada por meio de uma pera de esfigmomanômetro, que forneceu a pressão necessária para o funcionamento do sistema.

Para medir a pressão interna da câmara de contenção de ar, foi utilizado um Sensor de Pressão MPX10DP com faixa de medição de 10kPa. Mangueiras tecalon foram empregadas para conectar todos os componentes do sistema, proporcionando uma vedação adequada e garantindo o fluxo correto de ar.

O controle do fluxo de ar foi realizado por meio de uma válvula pneumática Solenoide Mola 2/2 Vias NF R1/4. Essa válvula foi acionada por um relé de 5V, que permitiu o controle preciso do fluxo de ar para dentro da câmara de contenção. Todos esses componentes foram acomodados dentro de uma maleta de ferramentas de alumínio (Figura 1).



**Figura 1.** Protótipo acomodado na maleta de alumínio para transporte e facilidade de operação.

**Fonte:** Autor

O sistema foi controlado por meio de um Arduino NodeMCU. Através de um aplicativo de celular desenvolvido especificamente para esse propósito, foi possível controlar e monitorar o protótipo remotamente.

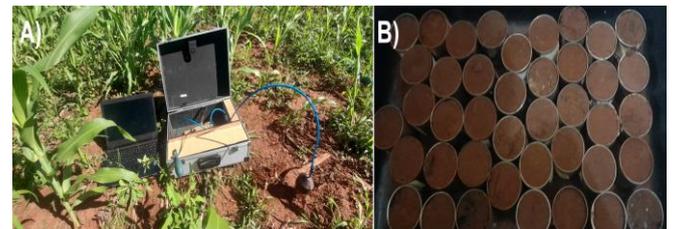
A metodologia empregada para determinar a  $K_a$  consistiu em obter a relação entre a queda de pressão interna da câmara e o tempo. Para isso, foi ajustada uma equação aos dados experimentais, e o módulo de declividade da reta definida entre as variáveis pressão e tempo foi calculado em escala logarítmica.

A  $K_a$  foi calculada utilizando a equação  $K_a = (\mu L V / A Pa) |S|$ , em que  $\mu$  representa o coeficiente de viscosidade dinâmica do ar,  $V$  é o volume do reservatório utilizado,  $P_a$  é a pressão atmosférica,  $L$  é o comprimento da amostra de solo,  $A$  é a área da amostra e  $S$  é o módulo de declividade.

Foram coletadas amostras de solo em cilindros indeformados em uma área localizada em Nova Andradina. Essa área está sendo utilizada para a realização de experimentos com a cultura do sorgo BRS Ponta Negra, empregando um sistema de semeadura direta com uma transição de 6 para 7 anos, outra área que foi feita coleta é de semeadura direta em transição de 3 para 4 anos da mesma cultura. Também foi avaliado um sistema de plantio convencional com culturas de variedades de feijão e amostras de solo foram coletadas em uma área de mata nativa próxima aos experimentos. A Figura 2A ilustra o equipamento em leitura a campo diretamente ao solo, e a Figura 2B mostra cilindros coletados.

A determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) envolveu a secagem das amostras, a pesagem da massa seca do solo e a medição do volume em um cilindro para calcular  $D_s = (\text{massa seca}) / (\text{volume final})$ , enquanto o teor de água gravimétrico ( $u$ ) foi obtido através de  $u = ((\text{peso úmido} -$

$\text{peso seco}) / \text{peso seco}) * 100$  após a secagem das amostras. Para a avaliação do teor de água volumétrico ( $\theta$ ), utilizou-se uma proveta para medir as mudanças de volume, aplicando a fórmula  $\theta = u * D_s / \text{densidade da água}$ . A porosidade total (PT) foi calculada como  $PT = (1 - (D_s / \text{densidade de partículas})) * 100$ , e a porosidade de aeração ( $E_a$ ) foi determinada usando a fórmula  $E_a = PT - \theta$ .



**Figura 2.** A) Protótipo em análise direta a campo; B) Solo coletado em diferentes manejos em cilindros de amostra indeformada.

**Fonte:** Autor

## Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados de correlação entre as variáveis avaliadas. Associações significativas reveladas foram pelos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis  $K_a$ ,  $D_s$ , teor de água gravimétrico ( $u$ ) e volumétrico ( $\theta$ ), porosidade total (PT) e porosidade de aeração ( $E_a$ ) ( $N = 64$ ).

A variável  $K_a$  demonstrou correlações positivas moderadas com PT ( $r = 0.42672$ ,  $p < 0.001$ ) e  $E_a$  ( $r = 0.38731$ ,  $p = 0.0016$ ), indicando que o aumento de  $K_a$  está relacionado ao aumento de PT e  $E_a$ . Conforme Silva et al. (2009) a  $K_a$  é inversamente relacionada com o  $\theta$  e diretamente com  $E_a$ . A correlação negativa moderada entre  $K_a$  e  $D_s$  ( $r = -0.42672$ ,  $p = 0.0004$ ) foi observada, sugerindo que um aumento em  $K_a$  está relacionado à diminuição de  $D_s$ . De acordo com Lima et al. (2005), o aumento da  $D_s$  causa alterações estruturais na parte física dos poros, incluindo sua distribuição e ligações.

Pearson Correlation Coefficients, N = 64 Prob >  r  under H0: Rho=0						
	Ka	Ds	u	teta	PT	Ea
Ka	1.00000	-0.42672	0.02436	-0.13018	0.42672	0.38731
Ka		0.0004	0.8485	0.3052	0.0004	0.0016
Ds	-0.42672	1.00000	-0.21243	0.15542	-1.00000	-0.82118
Ds			0.0919	0.2201	<.0001	<.0001
u	0.02436	-0.21243	1.00000	0.92548	0.21243	-0.37926
u				<.0001	0.0919	0.0020
teta	-0.13018	0.15542	0.92548	1.00000	-0.15542	-0.69136
teta			<.0001		0.2201	<.0001
PT	0.42672	-1.00000	0.21243	-0.15542	1.00000	0.82118
PT			0.0919	0.2201		<.0001
Ea	0.38731	-0.82118	-0.37926	-0.69136	0.82118	1.00000
Ea			0.0020	<.0001	<.0001	

**Tabela 1.** Coeficientes de Correlação de Pearson e Probabilidades Sob H0 (N = 64).

Fonte: Os autores.

A Tabela 2 apresenta as correlações de Pearson entre as variáveis estudadas com a Ka, o coeficiente de correlação (r) mede a intensidade e direção da relação linear entre as variáveis, enquanto o valor-p indica a significância estatística da correlação.

**Tabela 2.** Ilustração de forma mais clara os coeficientes de Correlação de Pearson e Probabilidades Sob H0 (N = 64).

Variáveis	Ka	Valor-p
Ds	-0.42672	0.0004
u	0.02436	0.8485
teta	-0.13018	0.3052
PT	0.42672	0.0004
Ea	0.38731	0.0016

Fonte: Os autores.

### Considerações Finais

Foi possível desenvolver o protótipo para avaliação da Ka e estudar as vantagens e limitações na transferência dos dados. A obtenção de dados no celular foi restritiva, pois há possibilidade de transmissão de poucos dados por segundo, enquanto a pressão no cilindro é reduzida de forma mais rápida. Assim, ainda é necessário utilizar um computador, mas todos os objetivos foram atingidos.

A continuação deste estudo se justifica pela sua relevância no aprimoramento mais preciso da coleta de dados, no aperfeiçoamento do acondicionamento dos componentes da parte interna, bem como na facilidade de aquisição de dados a campo e seu subsequente processamento estatístico. Dessa forma, existe uma grande probabilidade de que o

equipamento se torne uma ferramenta de alta precisão e confiabilidade.

### Agradecimentos

Meus agradecimentos de expressar minha profunda gratidão aos meus orientadores por suas valiosas orientações, apoio e dedicação durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Suas experiências, conhecimentos e entusiasmo pela área de estudo foram fundamentais para o sucesso desta pesquisa. Agradeço ao fornecedor da bolsa PIBIC pelo apoio financeiro. Sua contribuição foi muito valiosa para o sucesso deste projeto de pesquisa. Nossas raízes se entrelaçam com o solo, onde semeamos nossos esforços e colhemos os frutos do nosso trabalho.

### Referências

- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. Solos, ambiente e agricultura: conceitos, processos e sistemas de produção. Editora Livraria da Física, 2006.
- LI, Y. et al. Method for determining soil air permeability with constant air pressure difference. Soil Science Society of America Journal, v. 68, n. 4, p. 1272-1280, 2004.
- LIMA, H. V.; LIMA, C. L. R.; LEÃO, T. P.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 677-684, 2005.
- MARTÍNEZ, G. et al. Gas permeability, diffusivity and pore connectivity in unsaturated porous media: measurement techniques and implications for Vadose Zone modeling. Earth-Science Reviews, v. 154, p. 1-22, 2016.
- MOREIRA, W. H. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 389-400, 2012.
- PHILLIPS, R. E.; KIRKHAM, D. Air permeability as related to soil moisture tension. Soil Science Society of America Journal, v. 26, n. 1, p. 27, 1962.
- PENG, X.; HORN, R. Gas transport properties in structured and unstructured soils as affected by compaction. Soil and Tillage Research, v. 98, n. 1, p. 75-85, 2008.
- RAMOS, M. L. G. Práticas conservacionistas e qualidade do solo. Embrapa Informação Tecnológica, 2013.

SILVA, W. T. L. et al. Medição de permeabilidade ao ar do solo com o modelo AqDXY. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 5, p. 1387-1395, 2009.

SPERA, S. T. Erosão e degradação dos solos. Editora Oficina de Textos, 2010.