

## PROTÓTIPO PARA MONITORAMENTO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO E PH UTILIZANDO A PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM

Alisson Geraldo Alves Ferreira<sup>1</sup>, Wagner Henrique Moreira<sup>2</sup>, Wesley Tessaro Andrade<sup>3</sup>, Jean Marcel Milaré Araújo<sup>4</sup>, Carlos Henrique da Silva<sup>5</sup>, Renan Antunes Ferreira<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico do curso de Agronomia, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. Bolsista PIBIC/IFMS. [alisson.ferreira@novaandradina.org](mailto:alisson.ferreira@novaandradina.org)

<sup>2</sup>Orientador, Doutor, Professor EBTT, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. [wagner.moreira@ifms.edu.br](mailto:wagner.moreira@ifms.edu.br)

<sup>3</sup>Coorientador, Mestre, Professor EBTT, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. [wesley.andrade@ifms.edu.br](mailto:wesley.andrade@ifms.edu.br)

<sup>4</sup>Acadêmico do curso de Agronomia, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. Bolsista PIBIC/IFMS. [jeam.10marcel@gmail.com](mailto:jeam.10marcel@gmail.com)

<sup>5</sup>Acadêmico do curso de Agronomia, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. Bolsista PIBIT/IFMS. [carlos.silvahenrique@novaandradina.org](mailto:carlos.silvahenrique@novaandradina.org)

<sup>6</sup>Acadêmico do curso de Agronomia, Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. Bolsista PIBIT/IFMS. [renan.ferreira@novaandradina.org](mailto:renan.ferreira@novaandradina.org)

### RESUMO

A avaliação rápida e precisa de atributos de solo, como a condutividade elétrica do solo (CE), é fundamental para uma eficiente caracterização da variabilidade do solo e redução do tempo e custo de análise laboratorial. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um equipamento para monitoramento da CE, de baixo custo, baseado na plataforma Arduino, de forma a proporcionar a avaliação da CE por contato direto com o solo e em solução, além de avaliar o sensor para determinação de pH via Arduino. Foi implantado um experimento em delineamento de blocos ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições de calagem, determinados a partir da análise de solo (T1 – testemunha ou 0 kg ha<sup>-1</sup>; T2 – 640 kg ha<sup>-1</sup>; T3 - 1270 kg ha<sup>-1</sup>; T4 - 1940 kg ha<sup>-1</sup>; e, T5 –2550 kg ha<sup>-1</sup>). Após aplicação e reação do calcário, foram avaliadas a CE (contato direto e em solução), o teor de água do solo e o pH. Os resultados indicaram que o teor de água não apresentou relação com a CE, fato decorrente do manejo uniforme e desejável para comparações envolvendo a CE. A avaliação da CE diretamente no solo e em solução, apresentou relação linear. Além disso, a avaliação do pH pelo sensor não foi eficiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão; Arduino; Avaliação.

### 1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) é um importante sistema gerencial de dados agrícola, baseado na variabilidade espacial da produção, no solo ela é utilizada para quantificar os atributos físicos e químicos de forma detalhada, possibilita a determinação de zonas homogêneas de manejo (COELHO, 2005), otimizar o lucro e aumentar a sustentabilidade (KELLER, 2019). Porém, para uma eficiente caracterização pelo método tradicional de amostragem, demanda excessiva mão de obra, aliada ao tempo e custo de análise laboratorial (MACHADO *et al.*, 2006; CORASSA *et al.*, 2016).

Diante do exposto, CE tem ganhado destaque, pois ela se relaciona com vários atributos físico-químicos do solo e pode ser monitorada em tempo real com equipamentos automatizados (RABELLO, 2009; CARMO, 2014). A CE é uma variável complexa e influenciada por diversos atributos do solo, como: umidade textura, salinidade, densidade e matéria orgânica do solo (MOS) (MOLIN; RABELLO, 2011); teor de argila (MACHADO *et al.*, 2006); pH, saturação por bases, teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e CTC, (KELLER, 2019; CORASSA *et al.*, 2016); níveis de fertilidade do solo (CARMO; SILVA, 2016).

Os equipamentos utilizados atualmente, são equipamentos de alto custo de aquisição. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento para monitoramento da CE, de baixo custo, baseado na plataforma Arduino, de forma a

proporcionar a avaliação da CE por contato direto com o solo e em solução, além de avaliar a eficiência do sensor para determinação de pH via Arduino.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) - *campus* Nova Andradina-MS. Foi realizada coleta de solo em área de pastagem, sem histórico de calagem, na profundidade de 0,2 m, posteriormente homogeneizado, peneirado. O solo foi separado em vasos que constituíram as parcelas (25 amostras) do experimento em delineamento de blocos ao acaso com 5 tratamentos de calagem, determinados a partir da análise prévia do solo (T1 – testemunha ou 0 kg ha<sup>-1</sup>; T2 – 0,5 vezes a dose recomendada ou 640 kg ha<sup>-1</sup>; T3 - dose recomendada ou 1270 kg ha<sup>-1</sup>; T4 - 1,5 vezes dose recomendada ou 1940 kg ha<sup>-1</sup>; e, T5 – 2 vezes a dose recomendada ou 2550 kg ha<sup>-1</sup>). O experimento foi realizado com 5 repetições. As amostras, foram submetidas a irrigação semanalmente, simulando a chuva (20 mm).

Foram utilizados os seguintes equipamentos para o desenvolvimento do sistema: placa microcontroladora Arduino Uno R3; duas hastes de aço galvanizado 8 mm fixadas separadas por 0,05 m em um cabo de material termoplástico tecnil (poliamida 6); resistor de 470 Ω; fio de duas vias; e notebook para alimentação do sistema. Uma das hastes foi ligada diretamente na porta Vcc (5 Volts) do Arduino. Outra delas foi ligado o resistor de controle (Rc) de 470 Ω em paralelo com as portas GND e Analógica (A0) do microcontrolador.

Para determinação da CE foi fornecido uma tensão (V) de 5 Volts na haste ligada na porta Vcc, onde o solo apresenta resistência desconhecida (Rt) e está em série com o resistor de controle, com isso podemos determinar a queda de tensão (Vt) e, corrente elétrica (I) que percorre o solo pelas Equações 1 e 2:

$$V_t = 5 - V_{rc} \quad (1)$$

$$I = V/R_c \quad (2)$$

em que: Vt – queda de tensão (volts); Vrc – tensão recebida (volts); I – corrente elétrica (A); V- tensão fornecida (volts); Rc – resistência do resistor de controle (Ω). A partir da queda de tensão e corrente elétrica com base na Lei de Ohm foi possível determinar a resistência elétrica (Rt) e seu recíproco a condutância elétrica (G), pelas Equações 3 e 4:

$$R_t = V_t/I \quad (3)$$

$$G = \frac{1}{R_t} = \frac{I}{V_t} \quad (4)$$

A condutividade (σ) tem característica específica em cada material, isto é, depende de sua condutância elétrica e propriedades geométricas do condutor. A geometria do condutor é definida pela constante de célula (K) na Equação 5:

$$K = L/A \quad (5)$$

em que: L – comprimento do condutor ou distância entre eletrodos (cm); A – área transversal do condutor (cm). Desta forma, a CE é definida pela Equação 6:

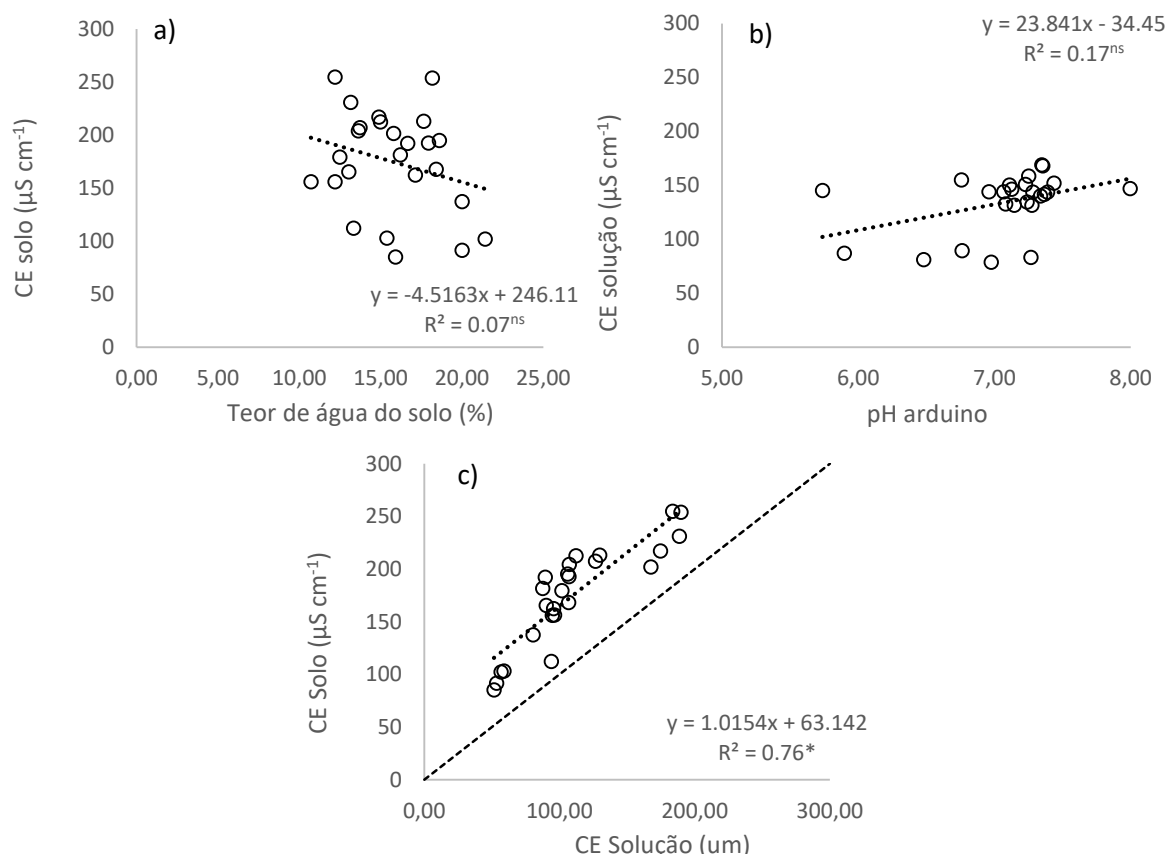
$$CE = G \cdot K \quad (6)$$

As leituras foram realizadas em uma profundidade de 0 a 0,05 m, pelo método resistivo de contato direto, o tempo de análise da CE foi de 3 min por parcela. Para a determinação do pH foi utilizado o sensor para Arduino modelo PH-4502C. O pH foi avaliado em solução, na relação 1:2,5, de solo e água destilada respectivamente, agitadas por 1 min, descanso de 1 h, agitação por mais 1 min, e posteriormente leitura. A CE avaliada em solução, foi realizada através do mesmo equipamento, foi utilizado a mesma solução para análise de pH e CE. Todos os equipamentos formam calibrados em solução tampão, anteriormente as leituras. Ao final, amostras foram encaminhadas para avaliação de pH pelo método tradicional.

O teor de água do solo foi obtido pelo método gravimétrico, ou seja, foi aferida a massa da amostra úmida no momento da realização do teste (por contato direto) e após o teste, a amostra foi seca em estufa à 105 °C. Pela diferença de massa, foi obtido o teor de água do solo. Os dados obtidos de CE e pH foram tratados através do software estatístico Sisvar® (FERREIRA, 2014), submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando significativo realizou-se análise de regressão ( $p > 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água não se correlacionou significativamente com a CE pelo método de contato direto, (Gráfico 1a), com  $R^2$  de 0,07.



**Gráfico 1:** Relação entre teor de água do solo e condutividade elétrica do solo (CE) medida diretamente (a), entre pH avaliado via Arduino e condutividade elétrica do solo em solução (CE) (b) e entre condutividade elétrica avaliada em solução e diretamente no solo (c). \* indica que coeficientes da regressão foram significativos ( $p < 0,05$ ) e <sup>ns</sup> indica que não houve diferença.

Fonte: Dados da pesquisa

Considerando que as irrigações foram realizadas com uniformidade, era esperada possível homogeneidade entre as parcelas, não havendo distinção de umidade, fazendo com que o teor de água não influenciasse os resultados da CE, fato desejável. É importante ressaltar, que em condições de campo, a CE é influenciada de forma significativa pelo teor de água do solo, como observados no trabalho de Molin e Rabello (2011). Mas, para validação do protótipo, é importante controlar esta variável.

A relação entre pH do Arduino e a CE na solução do solo, também não foi significativa. Os dados de pH, apresentaram valores acima de 7 em algumas situações, apresentando diferença que não deveria existir em relação aos valores de 5,1, 5,5, 5,9, 6,0

e 6,2 de pH encontrados para T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente, por metodologia convencional.

As leituras de CE em solução e diretamente no solo apresentaram diferenças. Os valores obtidos no solo foram superiores aos valores de solução, sendo possível obter uma equação que indica uma tendência de valores maiores medidos diretamente no solo, com um comportamento linear, que permite a obtenção de um fator de correção.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que o sensor para avaliação do pH não apresentou resultados relevantes, enquanto a avaliação de CE foi promissora e permitiu leituras e observação de relação linear entre a CE avaliada pelo protótipo diretamente no solo e em solução.

#### REFERÊNCIAS

CARMO, D. L. **Condutividade elétrica e sua relação com a fertilidade de solos tratados com corretivos e resíduos orgânicos**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/5116>. Acesso em: 12 jun. 2021.

COELHO, A, M. **Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/489734/1/Doc46.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2021.

CORASSA, G. M. *et al.* Espacialização em alta resolução de atributos da acidez de Latossolo por meio de sensoriamento em tempo real. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 9, set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900030>. Acesso em: 12 jun. 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, p. 109-112, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>. Acesso em: 12 jun. 2021.

KELLER, C. **Condutividade elétrica aparente como ferramenta de especialização com alta resolução de atributos do solo**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – UFMS, Santa Maria, RS, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/17259/TES\\_PPGCS\\_2019\\_KELLER\\_CRISTIANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/17259/TES_PPGCS_2019_KELLER_CRISTIANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 12 jun. 2021.

MACHADO, P. L. O. de A. *et al.* Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 41, n. 6, jun. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600019>. Acesso em: 12 de jun. de 2021.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.90-101, jan./fev. 2011. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/eagri/a/XCcqhxxDb8srRp\\_NP5xC3jRm/?format=pdf&lang=pt](https://www.scielo.br/j/eagri/a/XCcqhxxDb8srRp_NP5xC3jRm/?format=pdf&lang=pt). Acesso em: 12 jun. 2021.