

## AVALIAÇÃO DE MÉTODO ALTERNATIVO E DE CONDUTIVÍMETROS NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO

Tonny José Araújo da Silva<sup>1</sup>, Matheus Nogueira Fonseca dos Santos<sup>2</sup>, Adriano Bicioni Pacheco<sup>3</sup>,  
Edna Maria Bonfim-Silva<sup>4</sup>, Thiago Franco Duarte<sup>5</sup>

### RESUMO

Objetivou-se avaliar, por meio de índices estatísticos, a estimativa da condutividade elétrica do solo pela metodologia relação 1:1 (terra: água destilada) e condutivímetros alternativos, em um Latossolo Vermelho distrófico. O solo foi submetido ao processo de salinização, com diferentes concentrações de cloreto de potássio. Foi adotada como referência a condutividade elétrica do solo do extrato de solução, mensurada pelo condutivímetro mCA 150 Tecnal<sup>®</sup>. A metodologia com relação 1:1 e os demais condutivímetros (WT-3000iCEL<sup>®</sup>, CD-203 Phtek<sup>®</sup> e Hidroponia Digital CE<sup>®</sup>) foram avaliados por índices estatísticos quanto a correlação, a precisão, a acurácia e os erros. A metodologia relação 1:1 apresentou precisão e correlação muito boa ( $R^2 = 0,940$ ;  $r = 0,969$ ), porém subestimou os valores (PBIAS = 19,952), sendo necessárias correções dos dados pelo modelo linear de regressão. Os condutivímetros WT-3000 iCEL<sup>®</sup> e portátil CD-203 Phtek<sup>®</sup> apresentaram, de maneira geral, desempenho insatisfatório pela maioria dos índices, devido ao limite das leituras de até 1,998 dS m<sup>-1</sup> e a subestimativa dos dados. O Hidroponia Digital CE<sup>®</sup>, obteve performance de boa a muito boa na metodologia referência, mas na relação 1:1 obteve uma maior subestimativa e apresentou índices insatisfatórios. Portanto, a metodologia e os condutivímetros alternativos subestimam a condutividade elétrica do solo e necessitam de correções.

**Palavras-Chave:** salinidade do solo, condutivímetros portáteis, fertirrigação, cultivos intensivos, índices de performance estatísticos.

---

<sup>1</sup> Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem, Universidade Federal de Rondonópolis, Av. dos Estudantes, 5055 - Cidade Universitária, Rondonópolis - MT, 78736-900, e-mail: tonnyjasilva@hotmail.com

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Universidade Federal de Rondonópolis, Av. dos Estudantes, 5055 - Cidade Universitária, Rondonópolis - MT, 78736-900, e-mail: agricolanogueira@outlook.com

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Rod. PA 140, 2428-4822, Tomé-Açu - PA, 68680-000, e-mail: ad.pacheco@hotmail.com

<sup>4</sup> Zootecnista, Doutora em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Rondonópolis, Av. dos Estudantes, 5055 - Cidade Universitária, Rondonópolis - MT, 78736-900, e-mail: embonfim@hotmail.com

<sup>5</sup> Agrônomo, Doutor em Física Ambiental, Universidade Federal de Rondonópolis, Av. dos Estudantes, 5055 - Cidade Universitária, Rondonópolis - MT, 78736-900, e-mail: thiagof.duarte@hotmail.com

## EVALUATION OF ALTERNATIVE METHOD AND CONDUCTIVIMETERS IN DETERMINING THE SOIL ELECTRICAL CONDUCTIVITY

### ABSTRACT

The aim was to evaluate, by means of statistical indexes, the estimate of the electrical conductivity of the soil by the methodology 1:1 ratio (soil: distilled water) and alternative conductivimeters, in a dystrophic Oxisol. The soil was subjected to the salinization process, with different concentrations of potassium chloride. It was adopted as a reference, the electrical conductivity of the solution extract soil measured by the mCA 150 Tecnal<sup>®</sup> conductivity meter. The 1:1 ratio methodology and the other conductivimeters (WT-3000iCEL<sup>®</sup>, CD-203 Phtek<sup>®</sup> and Hidroponia Digital CE<sup>®</sup>) were evaluated by statistical indices regarding correlation, precision, accuracy and errors. The 1:1 ratio methodology showed Muito bom precision and correlation ( $R^2 = 0.940$ ;  $r = 0.969$ ), but underestimated the values (PBIAS = 19.952), requiring data corrections using the linear regression model. The conductivity meters WT-3000 iCEL<sup>®</sup> and portable CD-203 Phtek<sup>®</sup> presented, in general, poor performance by most indexes, due to the limit of the readings of up to 1.998 dS m<sup>-1</sup> and the underestimation of the data. The Hidroponia Digital CE<sup>®</sup>, obtained Good to Very Good performance in the reference methodology, but in the 1:1 ratio it obtained a greater underestimation and presented unsatisfactory indexes. Therefore, the methodology and alternative conductivimeters underestimate the electrical conductivity of the soil and need corrections.

**Keywords:** soil salinity, portable conductivimeters, fertigation, intensive cultivation, statistical performance indexes.

### INTRODUÇÃO

Em cultivos intensivos e experimentos de base, com o uso de vasos ou recipientes em ambientes protegidos, o solo de cultivo está sujeito a riscos de salinização, devido à ausência de precipitações e às condições impostas, como o uso de adubações elevadas para culturas de alto rendimento, reuso de águas salobras ou salinas, estudos sobre tolerância a salinidade, pesquisas sobre o déficit hídrico, aplicação de tratamentos com doses elevadas de nutrientes em experimentos de fertilidade, entre outras condições desejadas pelos pesquisadores (NUNES JÚNIOR et al., 2017; KOETZ et al., 2019; SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2020; TIGKA; IPSILANTIS, 2020).

Nessas condições, os sais se acumulam nas camadas superiores do solo, comprometendo o desenvolvimento, a qualidade e a produtividade das culturas. Nesse sentido, o monitoramento da condutividade elétrica do solo é crucial, por ser a variável que representa a concentração total de sais solúveis no solo ou na água (DALIAKOPOULOS et al., 2016). Como os adubos apresentam potencial

de salinização, o monitoramento da condutividade elétrica do solo é usado como parâmetro para o manejo das adubações em fertirrigações de cultivos intensivos (OLIVEIRA et al., 2015; NUNES JÚNIOR et al., 2017), e por isso exige que sua determinação seja prática, rápida, confiável e de baixo custo.

O método considerado como referência na determinação da condutividade elétrica do solo utiliza o extrato da solução do solo e condutivímetros de bancada em laboratórios. Contudo, esse método utiliza amostras de solo entre 100 a 200 gramas de solo (Teixeira et al., 2017), um volume significativo para cultivos intensivos e experimentos em vasos ou recipientes pequenos (1-13 dm<sup>3</sup> volume de solo) (KOETZ et al., 2019; BONFIM et al., 2020; GUERRA et al., 2020; SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2020; TIGKA e IPSILANTIS, 2020).

Uma opção para essas condições de cultivo é o uso de metodologias e condutivímetros alternativos, para redução do volume da amostra, do tempo de determinação e dos custos, a fim de facilitar o monitoramento

## AVALIAÇÃO DE MÉTODO ALTERNATIVO E DE CONDUTIVÍMETROS NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO

da condutividade elétrica do solo. Como metodologia alternativa, Richards (1954) propôs que diferentes relações terra: água destilada, podem ser usadas com boa precisão na determinação da condutividade elétrica do solo, se destacando a relação 1:1 por apresentar maior concentração de sais no meio aquoso, o que confere maiores variações de leituras. Desde então, diversos autores têm utilizado diferentes relações e observando especificidades para cada tipo de solo, como Abreu Junior et al. (2000) e Dias et al. (2005).

Contudo, para o uso de uma metodologia e condutivímetros alternativos, é necessário assegurar a confiabilidade dos dados determinados em relação ao método considerado referência. Nesse sentido, pode ser realizadas análises estatísticas que envolvam a estimativa da correlação, da precisão, da acurácia e dos erros, a fim de validar seus usos na determinação da condutividade elétrica do solo.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a estimativa da condutividade elétrica do solo pela metodologia com relação 1:1 (terra: água destilada) e condutivímetros alternativos, em um Latossolo Vermelho distrófico.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Local dos ensaios e coleta e preparação do solo

Os ensaios foram realizados no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Federal de Rondonópolis, Mato

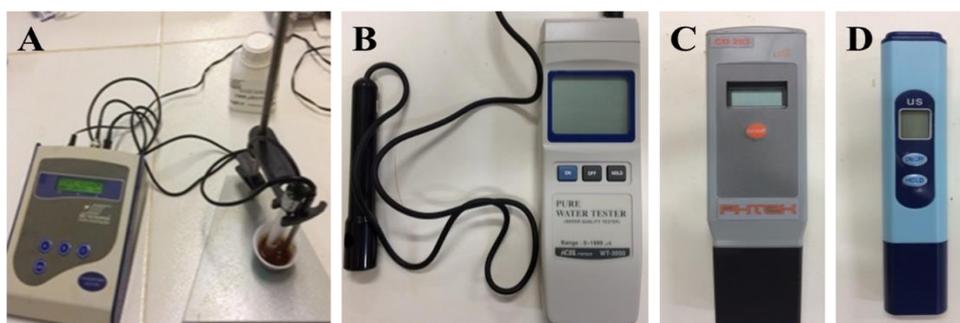
Grosso, Brasil. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018), coletado na camada de 0,0-0,2m de profundidade, em área de Cerrado nativo do respectivo campus. Foi realizada a caracterização química e granulométrica do solo (EMBRAPA, 2017), que apresentou: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,0; P = 1,4 mg dm<sup>-3</sup>; K = 23 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al = 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; M.O. = 27,1 g dm<sup>-3</sup>; SB = 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 6,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V = 9,7%; areia = 423 g kg<sup>-1</sup>; silte = 133 g kg<sup>-1</sup>; argila = 444 g kg<sup>-1</sup>.

O solo foi reservado em 32 unidades experimentais, que foram salinizadas com soluções de cloreto de potássio em diferentes concentrações, e deixado em casa de vegetação por um período de 20 dias de incubação em sacos plásticos, para obtenção de diferentes níveis de condutividade elétrica e para se ter homogeneidade na unidade.

Após a incubação, realizou-se a secagem à sombra do solo das unidades experimentais, para na sequência o solo ser peneirado em malha de 2 mm e proceder a determinação da condutividade elétrica em cada metodologia do estudo, no Laboratório de Solos e Nutrição Vegetal.

#### Condutivímetros utilizados

O condutivímetro de bancada mCA 150 Tecnal<sup>®</sup> (Figura 1A) foi utilizado como referência, por permitir prévia calibração e ter compensação automática em relação à temperatura da amostra, o que garante confiabilidade e segurança na leitura.



**Figura 1.** Condutivímetros de bancada mCA 150 Tecnal<sup>®</sup> (A), semi-portátil WT-3000 iCEL<sup>®</sup> (B), portátil CD-203 Phitek<sup>®</sup> (C), e Hidroponia Digital CE<sup>®</sup> (D).

Os demais sensores alternativos foram escolhidos por permitirem maior praticidade por serem portáteis. Os condutivímetros semi-portátil WT-3000 iCEL<sup>®</sup> (Figura 1B) e portátil CD-203 Phtek<sup>®</sup> (Figura 1C) são comumente utilizados no monitoramento da condutividade elétrica da água de bacias hidrográficas e de estações de tratamento, e apresentam potencial para o monitoramento da condutividade elétrica para a mensuração da condutividade elétrica do solo, contudo são limitados a valores de até 1,998 dS m<sup>-1</sup>.

Por sua vez, o condutivímetro Hidroponia Digital CE<sup>®</sup> (Figura 1D) é utilizado no monitoramento de soluções nutritivas utilizadas na hidroponia e na fertirrigação, apresentando potencial para mensurar condutividade elétrica do solo por ter sido projetado para mensurar os níveis de interesse agrícola. Este sensor também apresenta a vantagem de apresentar o menor custo de aquisição.

### **Condutividade elétrica por meio do extrato da solução do solo**

A condutividade elétrica do solo por meio do extrato da solução foi realizada de acordo com a metodologia de Richards (1954) adaptada pela Embrapa (2017), inicialmente foram pesadas 100 g de solo e em recipientes apropriados adicionando-se água destilada até que a massa do solo apresentasse consistência de pasta, com aspecto brilhante ou espelhante, ou quando a pasta deslizesse suavemente na espátula. Posteriormente, a amostra ficou em repouso por 4 horas.

O solo foi colocado em funis de Büchner contendo papel de filtro e adaptados a kitassatos de 500 mL. Aplicou-se a sucção com auxílio de um compressor de ar, por 40 minutos e coletou-se o extrato da solução do solo. Em seguida, foram mensuradas a condutividade elétrica do solo em cada condutivímetro, com temperatura da amostra de cerca de 25°C.

### **Condutividade elétrica por meio da relação 1:1 de solo:água destilada**

Na determinação da condutividade elétrica por meio da relação 1:1, as amostras foram preparadas com a mistura de 10 cm<sup>3</sup> de terra fina seca ao ar com 10 cm<sup>3</sup> de água destilada e agitação vigorosa por cinco minutos.

Após uma hora de repouso procedeu-se as leituras de condutividade elétrica do solo em cada condutivímetro, com a temperatura em cerca de 25°C (ABREU JUNIOR et al., 2000).

### **Análises e avaliações dos dados**

O conjunto (método e condutivímetro) adotado como referência, e portanto, variável dependente (y), foi a condutividade elétrica do solo do extrato de solução mensurada pelo condutivímetro de bancada mCA 150 Tecnal<sup>®</sup>. Os dados dos demais conjuntos foram considerados variáveis independentes (x), a fim de avaliar sua predição nos valores de condutividade elétrica do solo.

Os dados foram submetidos a análise de regressão, a 5% de probabilidade, para obtenção do modelo linear regressão. A partir do modelo, foi avaliada a qualidade da performance (Tabela 1) de cada conjunto (método e condutivímetro) a partir dos coeficientes, erros e índices estatísticos, sendo eles: coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), correlação de Pearson (r), erro médio (MAE), erro médio absoluto (EMAX), raiz do erro médio quadrático (RMSE), Índice de Concordância de Willmott (d) (WILLMOTT, 1981), Índice de Confiança (c) (CAMARGO e SENTELHAS, 1997), eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) (NASH e SUTCLIFFE, 1970), o viés percentual (PBIAS) (YAPO et al., 1996) e o Akaike Information Criterion (AIC) (AKAIKE, 1974). Todas as análises foram realizadas no software R (version 3.6.2).

## AVALIAÇÃO DE MÉTODO ALTERNATIVO E DE CONDUTIVÍMETROS NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO

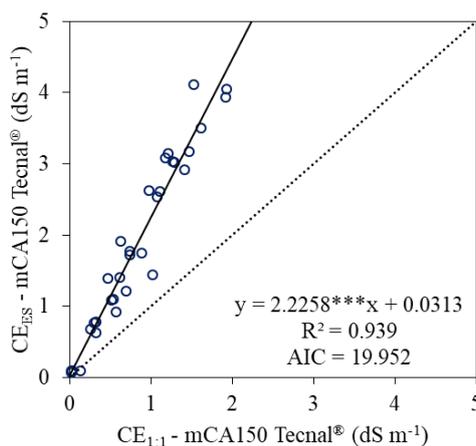
Tabela 1. Critérios de avaliação de desempenho qualitativo para os índices estatísticos dos métodos de determinação de área foliar (adaptados de MORIASI et al., 2015; e de PACHECO et al, 2020).

Índice Estatísticos	Performance do modelo			
	Muito bom	Bom	Satisfatório	Insatisfatório
R <sup>2</sup>	> 0,85	0,75 < R <sup>2</sup> ≤ 0,85	0,60 < R <sup>2</sup> ≤ 0,75	≤ 0,60
r	> 0,85	0,60 < r ≤ 0,85	0,40 < r ≤ 0,60	≤ 0,40
d	> 0,90	0,85 < d ≤ 0,90	0,75 < d < 0,85	≤ 0,75
c	> 0,84	0,66 < c ≤ 0,84	0,61 < c ≤ 0,66	≤ 0,61
NSE	> 0,80	0,70 < NSE ≤ 0,80	0,50 < NSE ≤ 0,70	≤ 0,50
PBIAS (%)	< ± 5	± 5 ≤ PBIAS ≤ ± 10	± 10 ≤ PBIAS ≤ ± 15	≥ ± 15

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia alternativa com a relação 1:1 (solo:água destilada) apresentou precisão e correlação classificada como muito bom na determinação da condutividade elétrica do solo, ao considerar os valores de coeficiente de

determinação ( $R^2 = 0,940$ ) e a correlação de Pearson ( $r = 0,969$ ), respectivamente. Contudo, o método obteve os maiores erros (MAE = 1,061; EMAX = 2,579; RMSE = 1.280), quando comparado com a mensuração pelos outros conjuntos de metodologias do estudo (Figura 2; Tabela 2).



**Figura 2.** Condutividade elétrica do extrato da solução ( $CE_{ES}$ ) determinada e estimada a partir da condutividade elétrica da relação 1:1 ( $CE_{1:1}$ ), ambas mensuradas pelo condutivímetro de bancada mCA150 da Tecnal<sup>®</sup>. \*\*\* modelo significativo a 0,01%.

A eficiência do modelo apresentou-se insatisfatório (NSE = -0,090), devido a subestimativa (PBIAS = 19,952) observada dos valores da condutividade elétrica do solo pela relação 1:1, quando comparada com o extrato da solução, sendo necessária a correção com o uso de equação. O modelo gerado apresentou-se adequado para as correções, pois obteve um baixo valor *Akaike Information Criterion* (AIC = 19,952) (Figura 2; Tabela 3).

A subestimativa observada na condutividade elétrica da relação 1:1, deve-se a

uma maior diluição dos sais da solução do solo, quando comparado com o extrato da solução (método adotado como referência). Dias et al. (2005) enfatizam que a estimativa da condutividade elétrica por meio de relações solo:água destilada apresenta como vantagens rapidez na execução e menores custos de operação por dispensar o uso de equipamentos para obtenção da solução do solo.

Contudo, os autores ressaltam a importância de se obterem equações de correção para o tipo de solo a ser trabalhado.

**Tabela 2.** Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio (MAE), erro máximo (EMAX) e correlação de Pearson ( $r$ ) para os métodos e condutivímetros na determinação da condutividade elétrica do solo por meio do extrato da solução.

Método	Condutivímetro	$R^2$	MAE	EMAX	RMSE	$r$
Extrato de saturação (CEes)	WT-3000 iCEL <sup>®</sup>	0.705 Satisfatório	0.595 --	2.111 --	0.863 --	0.840 Bom
	CD-203 Phtek <sup>®</sup>	0.614 Satisfatório	0.663 --	2.421 --	0.972 --	0.784 Bom
	Hidroponia Digital CE <sup>®</sup>	0.979 Muito bom	0.211 Melhor resultado	0.830 Melhor resultado	0.323 Melhor resultado	0.989 Muito bom
Relação de volume 1:1 (solo:água destilada)	mCA150 Tecnal <sup>®</sup>	0.940 Muito bom	1.061 Pior resultado	2.579 Pior resultado	1.280 Pior resultado	0.969 Muito bom
	WT-3000 iCEL <sup>®</sup>	0.910 Muito bom	0.918 --	2.111 --	1.109 --	0.954 Muito bom
	CD-203 Phtek <sup>®</sup>	0.931 Muito bom	0.886 --	2.111 --	1.080 --	0.965 Muito bom
	Hidroponia Digital CE <sup>®</sup>	0.940 Muito bom	0.869 --	2.190 --	1.082 --	0.969 Muito bom

**Tabela 3.** Índice de concordância de Willmott ( $d$ ), índice de performance de Camargo e Sentelhas ( $c$ ), coeficiente de eficiência do modelo (NSE), viés percentual (PBIAS) e *Akaike Information Criterion* (AIC) para os métodos e condutivímetros na determinação da condutividade elétrica do solo por meio do extrato da solução.

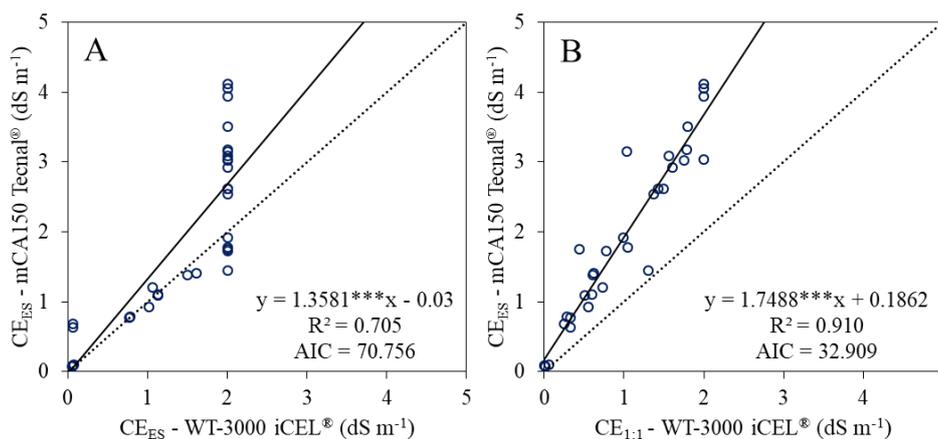
Método	Condutivímetro	$d$	$c$	NSE	PBIAS	AIC
Extrato de saturação (CEes)	WT-3000 iCEL <sup>®</sup>	0.808 Satisfatório	0.755 Bom	0.504 Satisfatório	-25.200 Insatisfatório	70.756 --
	CD-203 Phtek <sup>®</sup>	0.752 Satisfatório	0.680 Bom	0.371 Insatisfatório	-28.900 Insatisfatório	79.397 Pior resultado
	Hidroponia Digital CE <sup>®</sup>	0.979 Muito bom	0.979 Muito bom	0.931 Muito bom	-9.700 Bom	-13.825 Melhor resultado
Relação de volume 1:1 (terra:água destilada)	mCA150 Tecnal <sup>®</sup>	0.677 Insatisfatório	0.798 Bom	-0.090 Insatisfatório	-55.800 Insatisfatório	19.952 --
	WT-3000 iCEL <sup>®</sup>	0.742 Insatisfatório	0.821 Bom	0.182 Insatisfatório	-48.400 Insatisfatório	32.909 --
	CD-203 Phtek <sup>®</sup>	0.747 Insatisfatório	0.834 Bom	0.225 Insatisfatório	-46.700 Insatisfatório	24.363 --
	Hidroponia Digital CE <sup>®</sup>	0.741 Insatisfatório	0.835 Bom	0.221 Insatisfatório	-45.700 Insatisfatório	19.987 --

Os condutivímetros semi-portátil WT-3000 iCEL<sup>®</sup> (Figura 3A) e portátil CD-203 Phtek<sup>®</sup> (Figura 4A) apresentaram coeficientes de determinação e correlações de Pearson de satisfatórios a muito bom.

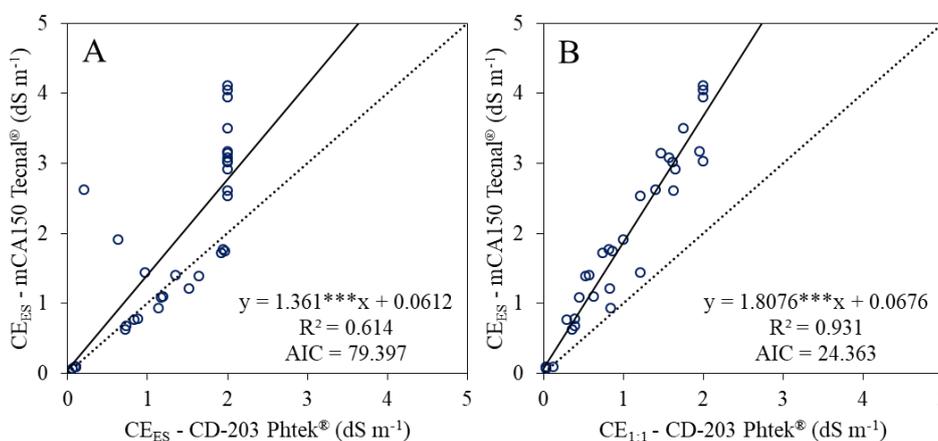
No entanto, os demais coeficientes e índices avaliados foram, de maneira geral, insatisfatórios, devido ao limite das leituras dos sensores de até 1,998 dS m<sup>-1</sup> e pela

subestimativa da condutividade elétrica (Tabelas 2 e 3). Na determinação da condutividade elétrica pela relação 1:1, os sensores apresentaram os índices de performance bom, devido à menor condutividade das amostras que possibilitaram um maior número de medidas em seus intervalos de leitura (Tabelas 2 e 3; Figuras 3B e 4B).

## AVALIAÇÃO DE MÉTODO ALTERNATIVO E DE CONDUTIVÍMETROS NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO



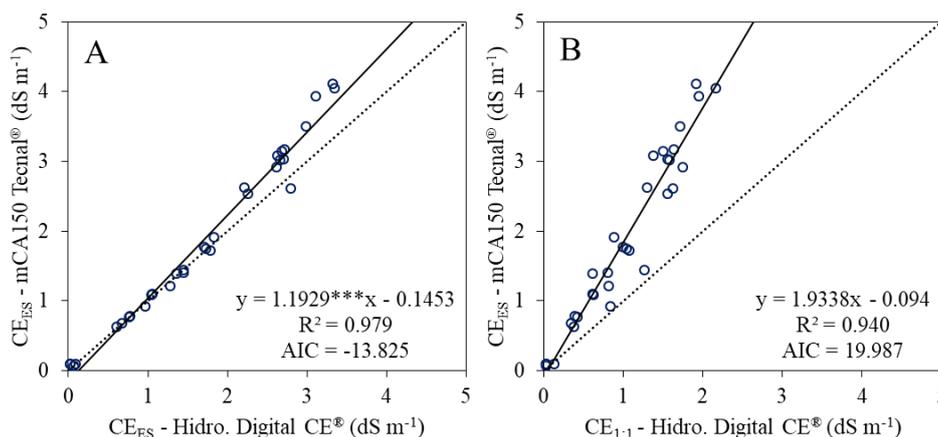
**Figura 3.** Condutividade elétrica do extrato da solução (CEES) pelo condutivímetro de bancada mCA150 da Tecnal<sup>®</sup> determinada e estimada a partir da condutividade elétrica do solo do extrato da solução (A) e da relação 1:1 (CE<sub>1:1</sub>) (B), ambas mensuradas pelo sensor semi-portátil WT-3000 iCel<sup>®</sup>. \*\*\* modelos significativos a 0,01%.



**Figura 4.** Condutividade elétrica do extrato da solução (CEES) pelo condutivímetro de bancada mCA150 da Tecnal<sup>®</sup> determinada e estimada a partir da condutividade elétrica do solo do extrato da solução (A) e da relação 1:1 (CE<sub>1:1</sub>) (B), ambas mensuradas pelo sensor portátil CD-203 Phtek<sup>®</sup>. \*\*\* modelos significativos a 0,01%.

O condutivímetro portátil Hidroponia Digital CE<sup>®</sup> sobressaiu-se, em relação aos demais condutivímetros alternativos, na mensuração da condutividade elétrica do solo no extrato de solução, obtendo coeficientes e índices de performance de bons a muito bons, com menores erros e viés percentual que indica menor subestimativa (Tabelas 2 e 3; Figura

5A). Na condutividade elétrica de relação 1:1, o sensor apresentou coeficiente de determinação e correção de Pearson muito bons, contudo no desempenho dos demais coeficientes avaliados apresentou resultados insatisfatórios (Tabela 2 e 3; Figura 5B) devido ao aumento da subestimativa incrementada pelas características do método (Figura 2).



**Figura 5.** Condutividade elétrica do extrato da solução (CEES) pelo condutivímetro de bancada mCA150 da Tecnal<sup>®</sup> determinada e estimada a partir da condutividade elétrica do solo do extrato da solução (A) e da relação 1:1 (CE1:1) (B), ambas mensuradas pelo sensor portátil Hidroponia Digital CE<sup>®</sup>. \*\*\* modelos significativos a 0,01%.

A metodologia de relação 1:1 e o condutivímetro Hidroponia Digital CE<sup>®</sup> apresentaram-se adequados ao monitoramento da condutividade elétrica do solo. Por sua vez, os condutivímetros semi-portátil WT-3000 iCel<sup>®</sup> e portátil CD-203 Phtek<sup>®</sup> são limitados ao limite de leitura de até 1,998 dS m<sup>-1</sup>, sendo recomendado apenas para o monitoramento nos cultivos de culturas sensíveis a salinidade, as quais apresentam perdas do rendimento relativo a partir de 1 dS m<sup>-1</sup> (DIAS et al., 2017).

Vale ressaltar, que os dados da metodologia e dos condutivímetros alternativos estudados, necessitam de correção para a estimativa da condutividade elétrica do extrato de saturação. E que, para outros tipos de solo é recomendado a confecção de curvas de calibrações específicas.

## CONCLUSÕES

A metodologia e os condutivímetros alternativos subestimam a condutividade elétrica do solo e necessitam de correções por modelos lineares de regressão.

A metodologia alternativa, relação 1:1, apresentou precisão e correlação muito boa, porém subestimou os valores, sendo necessário correções dos dados pelo modelo linear de regressão.

Os condutivímetros WT-3000 iCEL<sup>®</sup> e portátil CD-203 Phtek<sup>®</sup> apresentaram, de

maneira geral, desempenho insatisfatórios pela maioria dos índices.

O Hidroponia Digital CE<sup>®</sup>, obteve performance de boa a muito boa na metodologia referência, mas na relação 1:1 obteve uma maior subestimativa e apresentou índices insatisfatórios.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo aos autores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; ALVAREZ V., F. C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n. 3, p.635-647, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300016>

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, v. 19, n. 6, p. 716-723,

**AVALIAÇÃO DE MÉTODO ALTERNATIVO E DE CONDUTIVÍMETROS NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO SOLO**

1974.  
<http://dx.doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>

BONFIM, G. V.; SANTOS, M. D. S.; AZEVEDO, B. M.; CARVALHO, A. C. P. P.; FERNANDES, C. N. V. Irrigation intervals in the production of ornamental pineapple in pots. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 226-235, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n124rc>

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

DALIAKOPOULOS, I. N.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A.; KOURGIALAS, N. N.; VAROUCHAKIS, A. E.; KARATZAS, G. P.; RITSEMA, C. J. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 727-739, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>

DIAS, N. S.; BLANCO, FLÁVIO F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. de. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2017. cap. 11, p. 151-162.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.496-504, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400009>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de**

**métodos de análise de solo**. 3ª ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

GUERRA, A. M. N. M.; SILVA, M. G. M.; EVANGELISTA, R. S. growth environment and pot volume affect biomass and essential oil production of basil. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 135-141, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n115rc>

KOETZ, M.; PORTO, R. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; POLYZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. Effects of nitrogen fertilization and water replacement level on the production of gladiolus corms in a protected environment. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 9, 2019. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n9p234>

MORIASI, D. N.; GITAU, M. W.; PAI, N.; DAGGUPATI, P. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. **Transactions of the ASABE**, v. 58, n. 6, p. 1763-1785, 2015. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. **Journal of hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

NUNES JÚNIOR, E. S.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, L. A.; BEZERRA, F. M. S.; ALVES, R. C. Nitrogen and potassium fertigation in bell pepper cultivated in greenhouse using fertigation managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 186-190, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p186-190>

- OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J.F.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, R. C. P.; LIMA, K. S. 2015. Nutrição mineral do pimentão submetido a diferentes manejos de fertirrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n.2, p. 216-223. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000200013>
- PACHECO, A. B.; NASCIMENTO, J. G.; MOURA, L. B.; LOPES, T. R.; DUARTE, S. N.; COELHO, R. D.; MARQUES, P. A. A. Non-destructive and Destructive Methods to Determine the Leaf Area of Zucchini. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 295-309, 2020. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i3.16299>
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Agriculture Handbook, 60. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. 160p.
- SANTOS, S. T.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, G. B. S.; SÁ, F. V. S.; COSTA, J. P. B. M.; FERNANDES, P. D. Photochemical efficiency of basil cultivars fertigated with salinized nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. , p. 320-325, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p320-325>
- SILVA, C. T. R.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; PINHEIRO, E. A. R.; JOSÉ, J. V.; FERRAZ, A. P. F. Yield Component Responses of the *Brachiaria brizantha* Forage Grass to Soil Water Availability in the Brazilian Cerrado. **Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2020. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010013>
- TIGKA, T.; IPSILANTIS, I. Effects of sand dune, desert and field arbuscular mycorrhizae on lettuce (*Lactuca sativa*, L.) growth in a natural saline soil. **Scientia Horticulturae**, v. 264, p. 109191, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109191>
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981. <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>
- YAPO P. O.; GUPTA H. V.; SOROOSHIAN S. Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data. **Journal of Hydrology**. v. 181 n. 4. p. 23-48, 1996. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02918-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02918-4)