

Modelagem e análise da resistividade do solo em função do tempo e da chuva

Modelling and analysis of soil resistivity as a function of time and rain

RESUMO

Eduardo Vendramini
vendramini.1999@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil.

Rosângela Aparecida Botinha Assumpção

rosangelaa@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil.

Djones Aldivo Boni

djboni@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil.

Conhecer a resistividade do solo é imprescindível no dimensionamento de malhas de aterramento, logo, se realizou um estudo no campus da UTFPR – Toledo a fim de criar um modelo que represente a resistividade do solo com o passar do tempo levando em conta a chuva. Para isso, coletou-se dados de chuva e resistividade do solo em um determinado local do campus, realizou-se estatísticas descritivas da variável resistividade e foram ajustados os modelos linear simples e múltiplo. Enfim, foi criado o diagrama tridimensional que envolve o tempo (em dias), a chuva (em milímetros) e a resistividade (em Ohm·m). Como resultado, ficou possível verificar uma característica física do solo estudado, assim como confirmar a tese de que a chuva impacta de forma mais agravante na parte mais superficial do solo e, por fim, que é possível representar a variação da resistividade levando em conta o tempo e a quantidade de chuva a partir de um modelo linear.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos matemáticos. Chuvas – Frequência e intensidade. Condução elétrica. Solos – Análise.

ABSTRACT

Knowledge about soil resistivity is essential when dimensioning ground systems, therefore, it was carried out a study at UTFPR - Toledo campus in order to create a model which represents the soil resistivity over time taking into account the rain. Thus, rain data and soil resistivity were collected at a specific point in the campus, descriptive statistics of the resistivity variable were made and the simple and multiple linear models were adjusted. Finally, the three-dimensional diagram involving time, rain and resistivity was plotted. As a result, it was possible to verify the physical characteristics of the studied soil, the thesis that rain impacts more on the upper soil layer was confirmed and that it is possible to represent the variation of resistivity taking into account time and the amount of rain with a linear model.

KEYWORDS: Mathematical models. Rain - Frequency and intensity. Electric conduction. Soils - Analysis.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Resistividade Elétrica é a capacidade que um material tem de opor-se à passagem de corrente elétrica, havendo uma diferença de potencial a ele aplicada. Conhecer a resistividade elétrica de um solo é necessário para o dimensionamento de malhas de aterramentos de construções civis, linhas de transmissão, linhas de distribuição, subestações, entre outras aplicações.

A fim de garantir a segurança de pessoas que circulam e dos equipamentos instalados na área, é necessário que a malha de aterramento apresente baixa resistividade. Para isso, recomenda-se por norma da ABNT que a resistividade seja medida em um período seco, sem chuva nos últimos sete dias. Entretanto, não é trivial aguardar eventualmente meses para fazer a medição, assim, há a importância de ter um modelo que preveja a resistividade em uma determinada situação crítica.

JÁCOME, et al. (2014) avaliaram como a resistividade varia em diferentes estações do ano e verificaram que, apesar de ela variar com outros fatores como a temperatura, ela depende principalmente da chuva.

COELHO, et al. (2015), analisaram a influência da umidade na resistividade de vários tipos de solos, no contexto de sistemas de aterramento.

O presente trabalho teve como objetivo descrever o comportamento da resistividade no decorrer de um período de tempo, levando em consideração a quantidade de chuva, ademais, criar um modelo que represente esse comportamento.

MATERIAL E MÉTODOS

De junho de 2019 até outubro do mesmo ano, em um local específico do campus da UTFPR - Toledo, foram coletados os seguintes dados: volume de chuva, dias em que ocorreram as chuvas e resistividade do solo.

O volume de chuva foi registrado por meio de um pluviômetro, em milímetros lineares, sendo também registrados os dias que ocorreram precipitações.

Com o auxílio de um equipamento denominado terrômetro, de modelo MTD-2000E, foram coletadas semanalmente duas amostras de resistividade do solo em um ponto do campus.

Para a primeira amostra da resistividade, denominada r_1 , as quatro hastes do terrômetro foram cravadas com 1 metro de distância entre elas e 35 centímetros de profundidade. Já na segunda amostra, denominada r_2 , as hastes foram cravadas com 2 metros de distância entre elas e também com 35 centímetros de profundidade.

Conforme o manual de uso do terrômetro (MEGABRAS, 2008), o valor indicado em seu *display* é utilizado para determinar a resistividade do solo a partir da equação 1:

$$\rho = \frac{4\pi KD}{1 + \frac{2D}{\sqrt{D^2+4d}} - \frac{D}{\sqrt{D^2+d^2}}} \quad (1)$$

onde

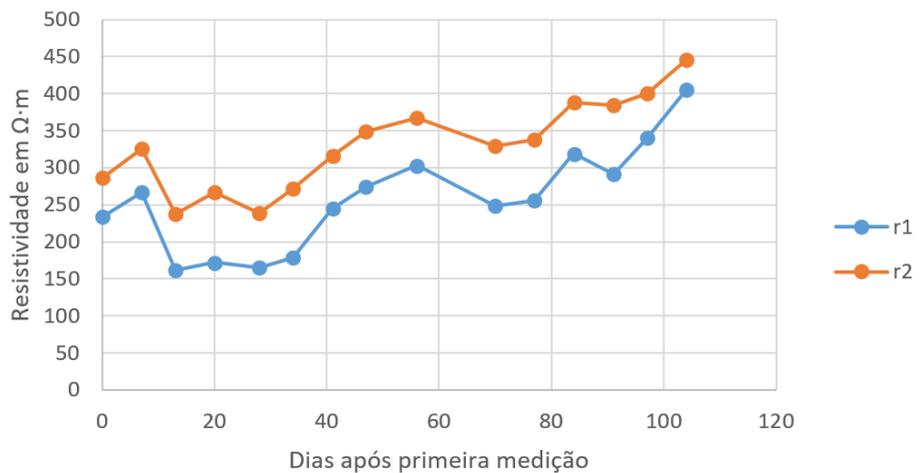
- ρ : Resistividade [$\Omega \cdot m$];
- D : Distância entre hastes [m];
- K : Valor indicado no display [Ω];
- d : Profundidade das hastes [m].

Foram feitas estatísticas descritivas da variável resistividade e ajustados os modelos linear simples e múltiplo. Todas as análises foram realizadas utilizando a linguagem R (2019) com os pacotes: rgl (Adler, 2020), Scatterplot3d (Ligges, 2003) e MASS (Venables, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de r_1 e r_2 no decorrer dos meses de coleta de dados (julho a outubro), são apresentados na figura 1.

Figura 1 – Gráfico da resistividade ($\Omega \cdot m$) em função do tempo (dias).



Fonte: Autoria própria (2020).

Ao observar a Figura 1, verifica-se que a variação da resistividade é crescente (tanto para r_1 quanto para r_2), porém apresenta pontos de declínio que correspondem aos dias de chuva.

Nesse período, as medições ocorreram semanalmente, totalizando quinze medições, além disso, houve sete dias de chuva. Verificou-se que r_1 , cuja distância entre as hastes é menor, apresentou menores valores de resistividade quando comparada com r_2 , conforme apresentado na Tabela 1.

Conforme PEREIRA, et al. (2016), a distância entre as hastes é diretamente proporcional à profundidade alcançada no solo. Ou seja, a resistividade 2 é a resistividade de um solo mais profundo, uma vez que a distância entre as hastes é maior que a da resistividade 1.

BECEGATO e FERREIRA (2005), em pesquisa, observaram que solos argilosos apresentaram resistividade média de $128,23 \Omega \cdot m$, enquanto para os solos de textura mista a média foi de $367,56 \Omega \cdot m$. De maneira análoga, neste estudo foram encontrados valores médios de resistividade próximos aos solos mistos, conforme Tabela 1, indicando que os solos estudados podem ter características elétricas em comum com esses solos.

Segundo a Embrapa (2007), a cidade de Toledo (Paraná) conta com o Latossolo Vermelho distrófico (LVd). Ademais, conforme o Instituto Agrônomo de SP (2014), Latossolos são solos minerais, homogêneos, sem camadas, profundos, ácidos, permeáveis (bem drenados), com baixa capacidade de troca de cátions e eles têm textura média ou fina, ou seja, argilosa ou muito argilosa.

Ainda na Tabela 1, é possível observar que a variabilidade foi maior em r_1 , visto que o seu desvio padrão é superior ao de r_2 . Costa Neto (2002) avalia como homogêneos valores inferiores a 20%, entre 20% e 35% como mais dispersos. Sendo assim, r_1 é um pouco mais disperso enquanto r_2 é mais homogêneo.

Da mesma maneira que COELHO, et al. (2015) verificaram, a camada do solo mais superficial teve maior influência da chuva na resistividade, uma vez que a chuva é a principal causadora da variação da resistividade e a r_1 se mostrou mais dispersa do que a r_2 .

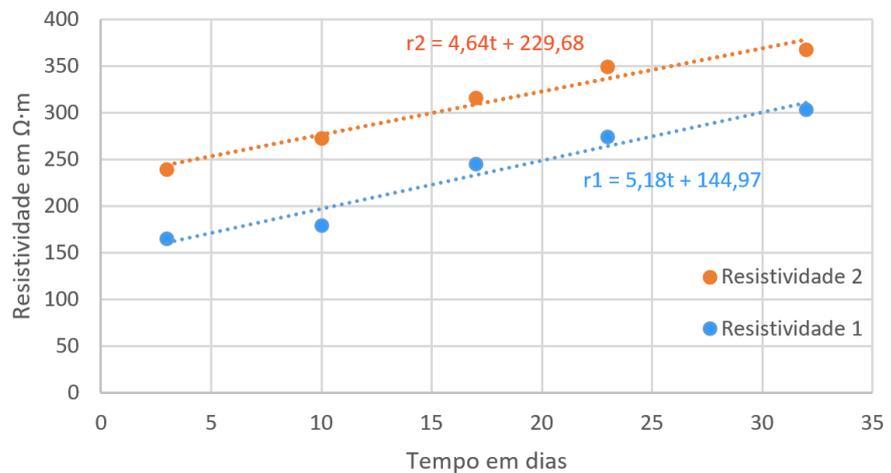
Tabela 1 – Estatística descritiva da resistividade

Estatística	Resistividade 1	Resistividade 2
Tamanho da amostra	15	15
Média	$258 \Omega \cdot m$	$330 \Omega \cdot m$
Valor mínimo	$162 \Omega \cdot m$	$237 \Omega \cdot m$
Valor máximo	$406 \Omega \cdot m$	$446 \Omega \cdot m$
Desvio Padrão	$70 \Omega \cdot m$	$61 \Omega \cdot m$
Coefficiente de variação	0,27	0,18

Fonte: Autoria própria (2020).

Com o intuito de analisar o comportamento da resistividade ao passar do tempo, foram construídos diagramas de dispersão das variáveis resistividade e tempo em um período de estiagem de cinco dias, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Diagrama de dispersão de r_1 e r_2 em função do tempo.



Fonte: Autoria própria (2020).

Ajustando um modelo linear ($r = \alpha + \beta t$), obteve-se coeficiente de determinação igual a 0,96 e 0,97 para r_1 e r_2 , respectivamente. Observou-se que o modelo de r_1 tem acréscimo de aproximadamente 5,2 $\Omega \cdot m$ a cada dia de estiagem, enquanto que para r_2 , o acréscimo é de 4,6 $\Omega \cdot m$. No entanto, vale salientar que os modelos foram ajustados com apenas cinco pontos.

A fim de relacionar as variáveis tempo após chuva (t) e volume de chuva (c) com as resistividades (r_1 e r_2), foi utilizada a Regressão Linear Múltipla, que é um modelo de regressão linear no qual uma variável depende de duas ou mais variáveis independentes (MAIA, 2017).

Desse modo, foram obtidas as equações $r_1(c, t)$ e $r_2(c, t)$ abaixo,

$$r_1(c, t) = \alpha_0 c + \alpha_1 t + \alpha_2 \quad (2)$$

$$r_2(c, t) = \beta_0 c + \beta_1 t + \beta_2 \quad (3)$$

sendo:

c : Volume da chuva em mm;

t : Tempo em dias.

De modo que α e β são os coeficientes dos modelos 1 e 2, respectivamente. Ambos os modelos se apresentaram significativos ao nível de 5% e os coeficientes de determinação foram de 0,52 e 0,44, respectivamente. No entanto, analisando os coeficientes dos modelos, observou-se que α_1 e β_1 não foram significativos, uma vez que o p-valor foi maior que 5% para ambos, ou seja, a variável tempo não foi significativa.

Desse modo, a fim de solucionar o problema, foi realizada a transformação dos valores de chuva com a aplicação do logaritmo natural. Assim, foram obtidos melhores coeficientes de determinação para as funções e a significância da variável tempo foi atingida.

Com isso, obtemos as seguintes equações que representam as resistividades 1 e 2:

$$r_1(c, t) = \alpha_0 \ln c + \alpha_1 t + \alpha_2 \quad (4)$$

$$r_2(c, t) = \beta_0 \ln c + \beta_1 t + \beta_2 \tag{5}$$

As equações indicam que a resistividade do solo decresce de forma logarítmica com a chuva e cresce linearmente com os dias.

Tabela 2 – Estimativa dos parâmetros dos modelos de resistividade

Modelo	P-Valor	R ²	R ² Ajustado	Parâmetros	P-Valor
r1	0,002	0,7489	0,707	$\alpha_0 = -52,0$	0,000*
				$\alpha_1 = 3,4$	0,015*
				$\alpha_2 = 333,9$	0,000*
r2	0,002	0,6418	0,5821	$\beta_0 = -42,4$	0,000*
				$\beta_1 = 2,8$	0,046*
				$\beta_2 = 391,7$	0,000*

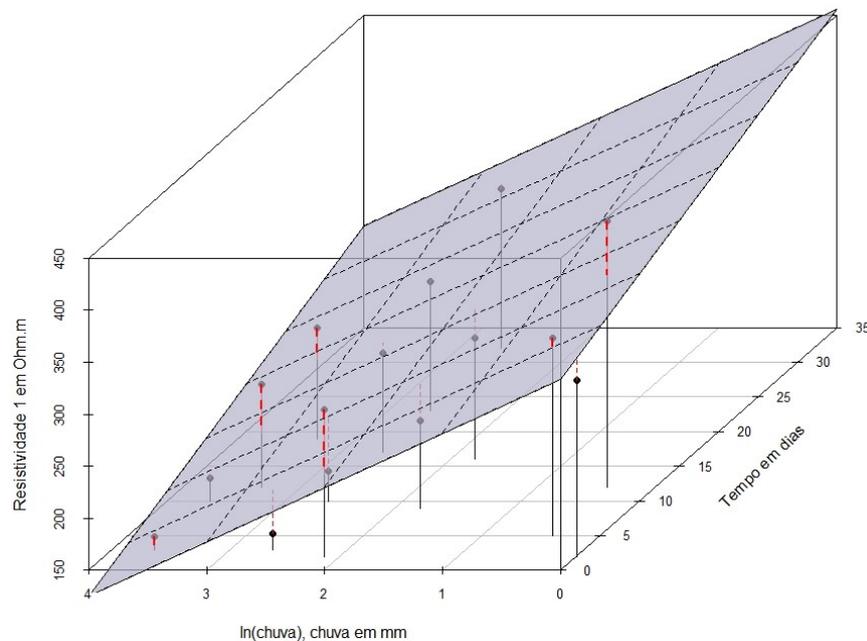
*Significativo ao nível de 5%

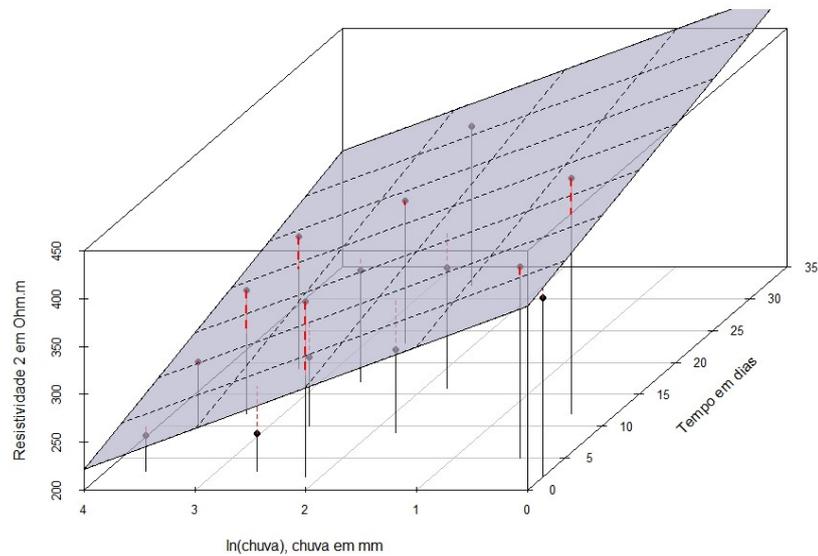
Fonte: Autoria própria (2020).

Dessa forma, todos os coeficientes dos dois modelos tornaram-se significativos ao nível de 5% (Tabela 2).

Ao plotar os diagramas tridimensionais que envolvem o tempo, em dias, após última chuva e o logaritmo natural da chuva, observa-se como os planos representam as resistividades. Os gráficos mostram as quinze medições realizadas da resistividade 1 e da resistividade 2 e os modelos ajustados (Figura 3).

Figura 3 – Resistividades 1 e 2.





Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

Com a realização desse trabalho foi possível verificar que o solo estudado tem característica de textura mista. Outrossim, foi possível confirmar que a ocorrência de chuva implica em uma queda na resistividade do solo, principalmente na camada mais superficial. Além disso, também é possível representar a variação da resistividade levando em conta o tempo e a quantidade de chuva a partir de um modelo linear.

AGRADECIMENTOS

Em especial à professora Rosangela e ao professor Djones que me atenderam todas as vezes que precisei de ajuda para o desenvolver o trabalho. Ademais a todos os outros organizadores do evento que estão tornando essa oportunidade possível.

REFERÊNCIAS

BECEGATO, Valter Antonio; FERREIRA, Francisco José Fonseca.
Gamaespectrometria, resistividade elétrica e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do estado do Paraná. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n. 4, p. 371-405, 2005.

COELHO, Vilson Luiz et al. **The influence of seasonal soil moisture on the behavior of soil resistivity and power distribution grounding systems.** Electric power systems research, v. 118, p. 76-82, 2015.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística.** 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda. 2002.

EMBRAPA. **Mapa de Solos do Estado do Paraná.** 2007. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em 28/04/2020.

HINES, William W.; MONTGOMERY, Douglas C.; GOLDSMAN, David M. **Probabilidade E Estatística Na Engenharia** . 4ª Edição. Grupo Gen-LTC, 2006.

JÁCOME, Bruno P. et al. **Avaliação Experimental da Variação Sazonal da Resistividade do Solo.** Seminário Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2014.

Latossolos. IAC SP.GOV, 2014. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Latossolos.pdf>>. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

LIGGES, Uwe; MAEHLER, Martin (2003): **Scatterplot3d** – an R Package for Visualizing Multivariate Data. *Journal of Statistical Software* 8(11), 1–20. Disponível em: <http://www.jstatsoft.org/>. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

MAIA, Alexandre Gori (2017). **Econometria: conceitos e aplicações.** Cap. 6.

MTD-20KWe: **Terrômetro digital.** Manual de uso. GU-1267. 2008 MEGABRAS. Disponível em: [https://vortex.com.br/arquivos/produtos-115-Manual%20MTD-20KWe\(P\)GU-1267_F.90-240V.pdf](https://vortex.com.br/arquivos/produtos-115-Manual%20MTD-20KWe(P)GU-1267_F.90-240V.pdf). Acesso em: 01 de setembro de 2020.

MURDOCH, Duncan. **3D Visualization Using OpenGL.** April 14, 2020. Disponível em: <https://www.vps.fmvz.usp.br/CRAN/web/packages/rgl/rgl.pdf>. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

PEREIRA, Will Roger et al. **Estratificação de solos em camadas horizontais utilizando evolução diferencial**. Tese. Universidade Federal de Uberlândia. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17816>. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

R Core Team (2019). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

VENABLES WN, Ripley BD (2002). **Modern Applied Statistics with S**, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0. Disponível em: <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>. Acesso em: 01 de setembro de 2020.