



## Resumo Expandido

<b>Título da Pesquisa:</b> Análise da resistência elétrica do solo de uma área da instituição IFMG na cidade de Formiga/MG		
<b>Palavras-chave:</b> Aterramento elétrico, condutividade elétrica, resistência elétrica, solos, granulometria		
<b>Campus:</b> FORMIGA	<b>Tipo de Bolsa:</b> Iniciação Científica	<b>Financiador:</b> PIBIC
<b>Bolsista (as):</b> Fabiano José Rodrigues		
<b>Professor Orientador:</b> Walter Alves Durão Júnior		
<b>Área de Conhecimento:</b> Química - Engenharia elétrica		

### Resumo:

Este trabalho teve como objetivo analisar a resistência elétrica dos solos em diferentes frações granulométricas de um terreno plano onde foi construído o campus do IFMG-Formiga. As amostras foram coletadas em 4 pontos e as amostragens foram realizadas em duas profundidades de cada ponto totalizando 8 amostras. Nas amostras de solos superficiais as frações mais finas dos solos foram aquelas que apresentaram menor resistência elétrica confirmando a expectativa de que solos ricos em oxi-hidróxido de ferro, alumínio e manganês, que são melhores condutores de corrente elétrica. As amostras de solos superficiais seguiram um mesmo perfil no que diz respeito à relação entre condutância e teor de matéria orgânica. As frações mais finas foram as que tiveram maiores teores de MO e menores resistência elétrica. O percentual de umidade foi menor na fração mais grossa contribuindo portanto para maior resistência elétrica nesta fração do solo. Nas amostras de solos profundos as frações mais finas do solo apresentaram menor resistência elétrica do que as demais frações. As frações mais finas tiveram maiores teores de MO e menores percentuais de umidade. O tratamento físico do solo como o fracionamento granulométrico pode ser uma importante ferramenta no trato do solo a fim de garantir menor resistência elétrica. Outros parâmetros como MO, umidade e pH são extremamente relevantes e contribuem para a utilização do solo em aterramento elétrico.

### INTRODUÇÃO:

É de fundamental importância para a engenharia que se tenha projetada toda instalação elétrica que garanta um bom aterramento viabilizando assim um melhor desempenho da instalação. O aterramento elétrico tem como finalidade: proteger as pessoas quanto a descargas elétricas atmosféricas adequando rotas alternativas para as descargas elétricas; descarregar cargas estáticas acumuladas em equipamentos, como veículos automotivos, por exemplo, e facilitar o funcionamento de dispositivos como fusíveis e disjuntores mediante a corrente desviada para a terra (Capelli, 2000).

A qualidade do aterramento está estreitamente relacionada com o solo e suas características. Parâmetros como umidade, pH, potencial redox, granulometria, temperatura do solo e composição podem refletir na boa ou má condução elétrica do solo (Egreja Filho, 2000). O pH ácido pode gerar problemas de corrosão na haste de condução ocasionando perdas tanto no funcionamento do aterro quanto na própria haste. A proporcionalidade entre as duas variáveis, CE e STD é válida desde que a atividade de íons H<sup>+</sup> não seja muito alta, ou seja, não seja muito baixo os valores de pH (CETESB, 2006).

Não existe um estudo sistemático que desenvolva parâmetros específicos para cada tipo de solo, bem como técnicas apropriadas para um tratamento eficiente, no que diz respeito a aterramento elétrico.

## **METODOLOGIA:**

### **1. Coleta da amostra**

Para a amostragem dos solos foi utilizado o amostrador manual tipo “trado” de aço. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno à temperatura de 4 °C. A área a ser construída o IFMG tem cerca de 720 m<sup>2</sup> e as amostras foram coletadas em 4 pontos (amostras 1, 2, 3 e 4). As amostragens foram realizadas em duas profundidades de cada ponto, totalizando 8 amostras. Um ponto fica a cerca de 50 cm da superfície do solo, que foram nomeadas como amostras superficiais (1s, 2s, 3s e 4s). O outro ponto de profundidade fica a cerca de 5 metros (1p, 2p, 3p e 4p). As amostras coletadas foram secadas ao ar à temperatura ambiente, desagregadas manualmente e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm de abertura (terra fina seca ao ar (TFSA)) e homogeneizadas. Partes destas amostras foram fracionadas por peneiramento em diferentes granulometrias (2 – 0,21 mm, 0,21 – 0,063 mm, e < 0,063 mm).

### **2. Determinação de matéria orgânica do solo (MO)**

Nas amostras de solo, foi medida a perda de massa a partir um tratamento térmico na mufla. A amostra foi submetida a um aquecimento com o patamar de aproximadamente 500 °C durante 1 hora. (Windmöller, 1996).

### **4. Determinação do pH em H<sub>2</sub>O em KCl**

Os valores de pH foram determinados potenciométricamente em suspensões de terra fina seca ao ar (TFSA) em água (pH(H<sub>2</sub>O)) na proporção solo:água de 1:2,5 e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (pH(KCl)) na proporção solo:solução de 1:2,5 (Embrapa, 1999).

### **5. Determinação da condutividade elétrica em extrato aquoso do solo**

O princípio desta técnica baseia-se na determinação dos sais solúveis no solo pela extração de cátions e ânions no extrato aquoso. Cerca de 100 g de TFSA (terra fina seca ao ar) foi colocada em um béquer de 400 mL. Adicionou-se água desionizada no solo de tal forma que a pasta formada não acumulou água na superfície. A amostra foi homogeneizada. A água foi filtrada à vácuo e mediu-se a condutância da solução com o auxílio de um amperímetro digital (multímetro). (EMBRAPA, 1997).

### **6. Determinação da umidade do solo**

Pesou-se em balança analítica aproximadamente 3 g da amostra de solo (em triplicatas); colocou-se em cadinhos de porcelana previamente secos e aqueceu-se até aproximadamente 110 °C em uma mufla por 1 hora. As amostras foram resfriadas e novamente foram pesadas. Aqueceram-se novamente as amostras até 110 °C até verificar peso constante após o resfriamento.

## 7. Avaliação da condutância em função do percentual de água no solo

Neste estudo fez-se uma simulação em laboratório do método proposto por Wenner (1915) aceito universalmente para medir a resistência elétrica do solo. Para simular o experimento, quatro hastes de ferro foram aterradas cerca de 4 cm do solo e posicionadas em linha reta distanciadas uma a uma por 15 cm.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

### 1. Estudo de fracionamento das amostras em diferentes granulometrias

Os resultados mostraram que as amostras de solos superficiais apresentam percentuais em massa da fração mais fina similares, mostrando que possivelmente estas amostras têm a mesma composição nesta fração. Segundo o relatório técnico do CDTN/FEAM (2006), as descrições das frações granulométricas adotadas são de areia muito grossa, grossa e média para a fração (2 a 0,210) mm, areia fina e muito fina para a fração (0,210 a 0,063) mm e silte e argila para a fração (<0,063) mm. A fração mais fina é constituída basicamente por argilominerais que se resumem a oxi-hidróxido de ferro, alumínio e manganês (MEURER, 2006). Esta fração é a principal responsável por adsorver metais e portanto, contribui mais para diminuição da resistência elétrica. As amostras de solo mais profundas com cerca de 5 metros, não tiveram percentuais em massa similares nas frações silte e argila (fração < 0,063 mm).

### 2. Efeito da granulometria, umidade, MO e resistência elétrica dos solos

A tabela 1 mostra os valores de resistência elétrica assim como os percentuais de MO, umidade e fração do solo nas diferentes granulometrias das amostras superficiais (profundidade de 50 cm).

**Tabela 1** – Análise granulométrica, percentual de MO, umidade e resistência elétrica das amostras superficiais de solo coletadas na área em estudo.

Amostra	Granulometria / mm	Fração do solo / (% m m <sup>-1</sup> )	Umidade / (% m m <sup>-1</sup> )	MO / (% m m <sup>-1</sup> )	Resistencia elétrica / kΩ
1s-1	>2mm	36,9	0,3	0,8	1580 ± 35
1s-2	2 – 0,21	15,2	1,2	1,2	1372 ± 95
1s-3	0,21 – 0,063	34,2	3,4	2,2	1066 ± 80
1s-4	< 0,063	13,8	1,9	1,9	937 ± 82
2s-1	>2mm	37,9	0,2	0,8	746 ± 4
2s-2	2 – 0,21	18,3	1,2	0,9	508 ± 28
2s-3	0,21 – 0,063	25,2	1,5	0,8	195 ± 10
2s-4	< 0,063	18,5	1,2	1,3	130 ± 43
3s-1	>2mm	27,2	0,2	1,9	887 ± 51
3s-2	2 – 0,21	14,7	1,3	1,9	558 ± 82
3s-3	0,21 – 0,063	36,3	1,9	2,2	401 ± 97
3s-4	< 0,063	21,8	1,5	2,7	85 ± 41
4s-1	>2mm	38,5	0,3	1,6	3434 ± 178
4s-2	2 – 0,21	13,1	1,3	2,3	1384 ± 33
4s-3	0,21 – 0,063	31,7	2,0	3,2	942 ± 5

4s-4	< 0,063	16,7	1,6	2,8	623 ± 5
------	---------	------	-----	-----	---------

Todas as amostras estudadas as frações mais finas dos solos foram aquelas que apresentaram menor resistência elétrica confirmando a expectativa de que solos ricos em oxi-hidróxido de ferro, alumínio e manganês, que são melhores condutores de corrente elétrica. A facilidade dos solos de silte e argila em adsorver metais contribuem também para a melhor condutância elétrica nos solos. A amostra 3s-4, por exemplo, foi a que apresentou menor resistência elétrica. Percebe-se pelos resultados que a amostra 3s o teor de MO foi inversamente proporcional à resistência elétrica mostrando que MO é um parâmetro significativo no que diz respeito a condutância. Os constituintes do solo responsáveis pela adsorção de metais são de uma forma geral, os argilominerais e as substâncias húmicas (constituente da MO).

Em geral todas as amostras de solos superficiais seguiram um mesmo perfil no que diz respeito à relação entre condutância e teor de matéria orgânica. As frações mais finas (silte/argila e areia muito fina) foram as que tiveram maiores teores de MO e menores resistência elétrica. Os valores de MO variaram de 0,8 a 3,2%  $m\ m^{-1}$ . As amostras 3s-4 e 4s-3 tiveram os maiores teores de MO assim como valores de resistência elétrica mais baixa. Amostras com valores de MO menor que 1%  $mm^{-1}$  como, por exemplo, as amostras 1s-1 e 2s-1 apresentaram valores de resistência elétrica alto, reafirmando a relação inversa que existe entre o teor de MO e a resistência elétrica do solo.

O percentual de umidade em massa das amostras de solo superficiais variou de 0,2 a 3,4%. Em todas as amostras o percentual de umidade foi menor na fração mais grossa. As frações mais finas do solo o percentual de umidade foi mais alto mostrando relação significativa da umidade com a resistência elétrica. Era de se esperar que amostras de solo mais úmidas têm baixa condutância uma vez que a condutância está relacionada com a mobilidade de íons no meio. Solos argilosos têm boa capacidade de reter umidade diferentemente de solos muito arenosos como é o caso das frações do solo mais grossas.

A tabela 2 mostra os valores de resistência elétrica assim como os percentuais de MO, umidade e fração do solo nas diferentes granulometrias das amostras mais profundas (profundidade de 5 m) que foram estudadas.

**Tabela 2** – Análise granulométrica, percentual de MO, umidade e resistência elétrica das amostras em profundidades de 5m de solo coletadas na área em estudo.

Amostra	Granulometria / mm	Fração do solo / (% $mm^{-1}$ )	Umidade / (% $m\ m^{-1}$ )	MO / (% $m\ m^{-1}$ )	Resistencia elétrica / k $\Omega$
1p-1	>2mm	39,3	0,1	0,5	830 ± 81
1p-2	2 – 0,21	16,9	0,6	0,6	617 ± 11
1p-3	0,21 – 0,063	30,4	1,3	0,8	482 ± 51
1p-4	< 0,063	13,4	1,4	1,3	265 ± 16
2p-1	>2mm	33,3	0,3	0,1	760 ± 44
2p-2	2 – 0,21	15,9	0,7	0,3	444 ± 130
2p-3	0,21 – 0,063	19,3	0,7	0,5	257 ± 12
2p-4	< 0,063	31,6	1,4	1,0	231 ± 20
3p-1	>2mm	25,7	0,3	0,9	1407 ± 9
3p-2	2 – 0,21	15,0	0,7	1,2	1214 ± 21
3p-3	0,21 – 0,063	36,5	0,7	1,6	496 ± 91
3p-4	< 0,063	22,7	1,2	1,5	432 ± 16
4p-1	>2mm	32,3	0,3	0,9	4305 ± 82

4p-2	2 – 0,21	16,8	1,5	1,1	3805 ± 106
4p-3	0,21 – 0,063	19,4	1,8	0,7	2449 ± 198
4p-4	< 0,063	31,5	1,9	1,4	930 ± 154

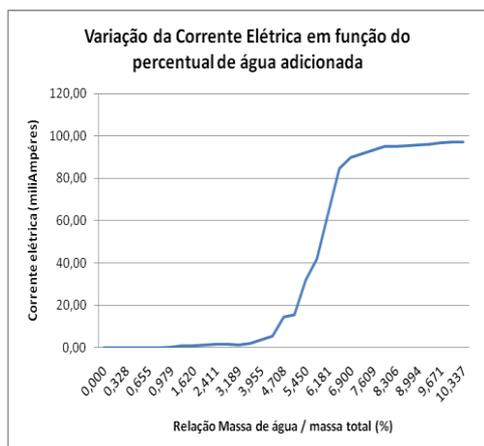
Quando o experimento acima foi repetido, agora para as amostras de solo em uma profundidade aproximada de 5 metros, observou-se que as amostras mais finas dos solos continuaram apresentando menor resistência elétrica do que as demais amostras, confirmando a expectativa de que solos ricos em oxidróxido de ferro, alumínio e manganês conduzem melhor a corrente elétrica. Outro fator relevante é a relação inversamente proporcional existente entre a umidade e a resistência elétrica do solo nas amostras analisadas. Como exemplo, a amostra 4p-1 apresenta um valor de resistência elétrica elevado, e um teor de umidade baixo, quando comparados à amostra 4p-4.

As amostras de solos a maiores profundidades seguiram um mesmo perfil daquele encontrado em amostras superficiais no que diz respeito à relação entre condutância e teor de matéria orgânica. As frações mais finas (silte/argila e areia muito fina) foram as que tiveram maiores teores de MO e menores resistência elétrica. Os valores de MO variaram de 0,3 a 1,6% m m<sup>-1</sup>. As amostras 3p-3 e 3p-4 tiveram os maiores teores de MO assim como valores de resistência elétrica mais baixa. Amostras com valores de MO menor que 0,5% mm<sup>-1</sup> como, por exemplo, as amostras 3p-1 e 4s-1 apresentaram valores de resistência elétrica alto, reafirmando a relação inversa que existe entre o teor de MO e a resistência elétrica do solo. O percentual de umidade em massa das amostras de solo de profundidade próxima de 5 metros variou de 0,1 a 1,9%.

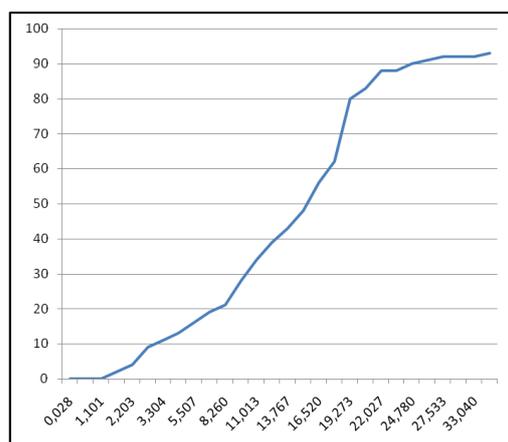
Fazendo uma comparação entre os dois perfis de profundidade observa-se, em geral, que a resistência elétrica é maior nas amostras de solo mais profundas, exceto na amostra 1s. Os resultados mostraram que não há correlação entre os parâmetros de MO e umidade com a resistência elétrica do solo nas diferentes profundidades mostrando que as amostras de solos, como eram esperadas, não são homogêneas. A composição química do solo seria um fator preponderante para se avaliar a diferença de condutância elétrica do solo de forma mais eficiente nas diferentes profundidades.

### 3. Determinação da variação da resistência elétrica do solo em função de adição de água

Para simular o experimento, quatro hastes de ferro foram aterradas cerca de 4 cm do solo e posicionadas em linha reta distanciadas uma a uma por 15 cm. Na medida em que se aumenta a quantidade de água no solo analisado, verifica-se o que acontece com a corrente elétrica. A Figura 1 apresenta a variação do valor de corrente elétrica em função do percentual de massa de água adicionada no solo nas (a) superfície e na (b) profundidade e 5 m.



(a)



(b)

**Figura 1** – Variação do valor de corrente elétrica em função do percentual de massa de água adicionada no solo na superfície (a) e na profundidade de 5 metros (b).

O valor de água adicionado foi representado como uma porcentagem de massa total da amostra, e variou de 0% até aproximadamente 11%. É possível observar que na superfície existe um crescimento acentuado no valor da corrente elétrica, até que, próximo a 6% de umidade, o valor tende a se tornar constante. Esse fato acontece por que, à medida que se adiciona água desionizada ao solo, existe a solubilização dos íons presentes na amostra. Na amostra de solo a 5 metros de profundidade o valor de água adicionado foi representado como uma porcentagem de massa total da amostra, e variou de 0% até aproximadamente 33%. O aumento percebido no valor necessário para a estabilidade da corrente elétrica se deve à menor presença de íons em solos mais profundos, uma vez que a ação de agentes naturais em grandes profundidades interfere pouco na presença de minerais.

### **CONCLUSÕES:**

Para a determinação da condutividade elétrica, diversos fatores precisam ser levados em consideração, como a concentração de íons na solução, a presença de umidade, pH dentre outros. Devido a essa composição química, nestes solos observou-se o menor valor da resistência elétrica. Em contrapartida, as parcelas mais grossas do solo são ricas em silicato, composto que é caracterizado por baixa condutividade. Os solos mais profundos sofrem menor ação de agentes naturais, e por esse motivo, são mais heterogêneos do que os solos da superfície. Tal fato é condizente com as diferenças encontradas nas destruições de massas das amostras coletadas à profundidade de 5 metros.

Os solos mais finos apresentaram maior percentual de umidade que favoreceu para que houvesse melhor condutividade elétrica. Sendo assim, argila e areia muito fina possuem elevada condutividade elétrica. Por isso, era esperado que quanto maior a presença de umidade em uma amostra, menor deveria ser a resistência elétrica da mesma. Os solos com maior fração granulométrica apresentaram pequenas quantidades de umidade, e elevada resistência elétrica, comprovando a relação inversamente proporcional existente entre essas duas propriedades.

Quanto mais profundo é um solo, menor é a quantidade de minerais que é a ele transportado por agentes naturais, em ações como o intemperismo. Sendo assim, era esperado que o pH a grandes profundidades fosse menor, pela ausência de cátions. A coloração do solo, sobretudo nas camadas menos profundas, indica uma maior predominância de compostos alcalinos, o que contribui para um maior valor registrado nos solos superficiais. É necessária uma quantidade de água maior para solubilizar os íons presentes nas amostras mais profundas de solo, uma vez que existem menores quantidades de minerais abaixo da superfície.

O tratamento físico do solo como o fracionamento granulométrico pode ser uma importante ferramenta no trato do solo afim de garantir menor resistência elétrica. Outros parâmetros como MO, umidade e pH são extremamente relevantes e contribuem para a utilização do solo em aterramento elétrico.

### **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA:**

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2001. Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 32 p. (NBR 5419).

Capelli, A. Aterramentoelétrico.Saber eletrônico. Nº 329. Junho. 2000. Site de acesso: [www.sabereletrônica.com.br](http://www.sabereletrônica.com.br). Acesso em Junho de 2011.

CETESB (*Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*). 2006. Rios e Reservatórios - Variáveis de qualidade das águas. Disponível em: <<http://www.cesteb.sp.gov.br>>. Acesso em: 07/06/2011.

CETESB (*Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental*). 2002. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cesteb.sp.gov.br>>. Acesso em: 07/06/2011.

Egreja Filho, F.B., Extração seqüencial de metais pesados em solos altamente intemperizados: utilização de componentes-modelo e planejamentos com misturas ternárias na otimização do método. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

Linhares, L.A., Avaliação da vulnerabilidade de solos representativos de Minas Gerais à contaminação por metais pesados baseada em estudos de adsorção e processos de extração. Tese (Doutorado em Química). Instituto de Química da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

Meurer, E.J. Fundamentos de Química dos Solos. Editora: Gênese, 3ª edição. Porto Alegre, 2006, 285 p.

Molin, J.P.; Gimenez, L.M.; Pauletti, V.; Schmidhalter, U.; Hammer, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.2, p.420-426, maio/ago. 2005.

Oliveira Júnior, A. M., Silva, R. J. SISTEMAS de proteção contra descargas atmosféricas e aterramento. Monografia (Projeto final apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Goiás, Goiânia/GO, 2004.

Windmöller, C.C., Especificação de Mercúrio em Solos Contaminados por Termodesorção-Absorção atômica. Tese (Doutorado em Química).