



## Utilização de imageamento elétrico 2D no estudo de latossolos

Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento, Universidade de Brasília, Brazil.  
Déborah da Silva Santos, Universidade de Brasília, Brazil.  
Antônio Felipe Couto Júnior, Universidade de Brasília, Brazil.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

In this work 2D electrical imaging was used to visualize soil horizons in an environmental conservation area, near Planaltina city, Distrito Federal. Three layers and two resistive anomalies were observed in the electrical section. The layers observed in 2D electrical image are soil horizons with different geotechnical properties, previously identified by a Standard Penetration Test carried out in study area. The resistive anomalies observed in electrical image represent the effect of two trenches with rectangular geometry previously opened for soil sampling.

### Introdução

Os métodos geofísicos têm como uma de suas aplicações determinar a natureza das estruturas subsuperficiais sem a necessidade de sondagens mecânicas ou escavações. No campo da pedologia, sondas de nêutrons são utilizadas desde a década de 1960 para medição da umidade. Métodos elétricos e eletromagnéticos são utilizados para medição indireta tanto da umidade como da salinidade do solo desde 1940. No entanto, existem poucos trabalhos relatando a utilização de geofísica no estudo e manejo de solos brasileiros, em particular dos latossolos.

No Distrito Federal, latossolos cobrem aproximadamente a metade do território. A determinação das características destes solos, por meio de análises físicas, químicas e morfológicas em amostras pontuais, tem sido bastante executada, entretanto, variações estruturais, texturais e composicionais dificultam a generalização dos resultados dessas análises.

Neste contexto, a geofísica se insere como meio de obter estimativas sobre as condições do solo, de maneira rápida, não invasiva e em extensões relativamente grandes. Nesse trabalho utilizou-se o método elétrico de corrente contínua (eletrorresistividade) para visualizar a estrutura do perfil do solo em uma unidade de

conservação localizada na região de Planaltina, Distrito Federal. Além da estrutura do perfil de solo, também foi analisado o efeito de escavações com geometria regular na variação da resistividade superficial, por meio do imageamento elétrico da subsuperfície em duas dimensões.

### Método

Solos são corpos naturais que cobrem partes da superfície terrestre, possibilitando o crescimento de vegetação, e que se formam pela atuação climática e biológica sobre materiais pré-existentes, durante um determinado tempo e em determinado relevo (Tan, 1994).

O perfil do solo é a seção vertical com início na superfície do terreno e que se aprofunda até onde chega a ação do intemperismo, habitualmente mostrando uma série de camadas paralelas. Estas camadas são conhecidas como os horizontes do solo, distinguíveis com base em características físicas, químicas e mineralógicas, e que expressam a história evolutiva do perfil considerado (Vieira e Vieira, 1983).

Um perfil típico de solo apresenta três horizontes principais que se sucedem nesta ordem, de cima para baixo: A, B, C (Vieira e Vieira, 1983). O horizonte A é o horizonte de máxima atividade biológica, com maior acúmulo de matéria orgânica e que está mais sujeito às variações de temperatura e umidade. Tende a experimentar uma perda de argila, ferro ou alumínio, e conseqüente acumulação de quartzo e outros minerais resistentes.

O horizonte B é caracterizado pelo acúmulo de argila, ferro ou alumínio, com matéria orgânica. O horizonte C, mais inferior, é a camada menos alterada do solo e tem características mais próximas da rocha original. Abaixo do horizonte C encontra-se a rocha inalterada (R), que pode ou não ser a matriz do solo sobreposto.

Os latossolos são constituídos essencialmente por quantidades variáveis de hematita, goethita, gibbsita, caulinita e quartzo. A estrutura é bem desenvolvida. São profundos e com os horizontes A, B e C pouco diferenciados. As cores variam do amarelo ao vermelho escuro. Têm capacidade de troca catiônica baixa e costumam ser ácidos, distróficos e aluminicos. São típicos das regiões equatoriais e tropicais, distribuídos em antigas superfícies de erosão com relevo plano e suave ondulado (EMBRAPA, 1999).

A cor amarela dos latossolos é associada à presença de goethita, independente do volume deste mineral. A cor torna-se vermelha quando hematita faz-se presente, principalmente sob a forma de cristais pequenos e mal formados. Desse modo, a cor depende da natureza e cristalinidade dos minerais de ferro e não do teor de ferro total, determinado mediante análises químicas (Volkoff, 1978).

No método elétrico de corrente contínua, habitualmente, trabalha-se com dois eletrodos de corrente (A e B) e dois eletrodos de potencial (M e N), os quatro fixados na superfície do terreno. Através dos eletrodos A e B aplica-se uma diferença de potencial e, como resultado desta diferença, uma corrente elétrica contínua começa a percorrer o terreno. O valor da corrente é medido e registrado. Utilizando os eletrodos M e N, mede-se uma diferença de potencial que se estabelece no terreno e que está associada à passagem da corrente. Deve-se notar que o solo já possui um potencial elétrico natural, denominado potencial espontâneo, o qual deve ser descontado da medição feita com os eletrodos M e N. Conhecendo-se a corrente que percorre o subsolo, a geometria da disposição dos eletrodos e o potencial medido entre os eletrodos M e N, pode-se calcular um valor de resistividade elétrica, que por estar sendo medida em um meio heterogêneo e anisotrópico, e por ser função do arranjo de eletrodos, é dita aparente (Orellana, 1972; Telford et al. 1990).

Na perfilagem elétrica horizontal, também conhecida como caminhamento elétrico, os quatro eletrodos são deslocados em grupo sobre o terreno, de forma a obter um conjunto de medidas regularmente distribuídas ao longo de uma dada direção. A profundidade de investigação é proporcional ao espaçamento entre eletrodos e às propriedades elétricas locais. A perfilagem elétrica horizontal não deve ser confundida com a perfilagem elétrica de poço, na qual as medições de resistividade são executadas no interior de um furo de sonda.

Desde meados da década de 1980, têm surgido no mercado vários equipamentos que se propõem a executar perfilações elétricas horizontais de forma automática, reduzindo a mão de obra e o tempo necessário. O traço comum a estes equipamentos é a utilização de vários eletrodos conectados de forma simultânea e independente ao equipamento, cuja ativação e desativação são feitas por meio de microcomputador, de forma a simular o deslocamento de apenas quatro eletrodos, com diferentes espaçamentos, sobre o terreno.

Esse tipo de resistivímetro permite adquirir dezenas de medidas de resistividade, em diferentes profundidades ao longo da linha na qual foram instalados eletrodos. O grande volume de dados possibilita a apresentação dos mesmos como pseudoseções, representações gráficas da variação da resistividade na subsuperfície em duas dimensões, comprimento e profundidade. Esse tipo de trabalho vem sendo chamado de imageamento elétrico 2D e fornece bons resultados em áreas de estrutura complexa, onde a perfilagem elétrica convencional é inadequada.

O desenvolvimento dos equipamentos aptos para fazer o imageamento elétrico 2D foi acompanhado da elaboração de programas de computador específicos para a representação desse tipo de medida, como o RES2DINV (Loke e Barker, 1995; Loke e Barker, 1996). São programas que fazem a inversão do conjunto de medidas, ou seja, possibilitam construir um modelo geoeletrico da subsuperfície, cuja resposta à energização reproduza, da melhor forma possível, as medições obtidas. Esse modelo geoeletrico é posteriormente interpretado em termos do modelo geológico / pedológico mais plausível ao local estudado.

Nesse trabalho, utilizou-se um resistivímetro modelo Geopulse, fabricado por Campus Geophysical Instruments, Inglaterra, e adquirido pela Universidade de Brasília em 1995 (Figura 1). Trata-se de um equipamento portátil, projetado para trabalhar com sistemas do tipo multieletrodo, nos quais, vários eletrodos são conectados de forma simultânea e independente ao resistivímetro por meio de um cabo especial. Um microcomputador é conectado ao Geopulse, controlando seu funcionamento mediante *software* específico e ativando e desativando conjuntos de eletrodos, de forma a simular o deslocamento de apenas quatro eletrodos no terreno.



Figura 1. Resistivímetro Geopulse utilizado nesse trabalho.

A figura 2 ilustra a execução de uma perfilagem elétrica horizontal, de modo automático, com o Geopulse. Ao resistivímetro conectam-se o microcomputador e o cabo multieletrodo, sendo que nesse cabo existem 25 terminais para eletrodos com separação de 1 metro. As medidas são efetuadas ao longo do comprimento do cabo, usando-se quatro eletrodos em cada medida.

A 1ª medida do 1º nível usa os eletrodos 1 (A), 2 (M), 3 (N) e 4 (B). A 2ª medida do 1º nível usa os eletrodos 2 (A), 3 (M), 4 (N) e 5 (B). A 3ª usa os eletrodos 3 (A), 4 (M), 5 (N) e 6 (B) e assim sucessivamente, até que o 25º eletrodo exerça a função de "B" na última leitura deste

nível. Em todas as medidas desse nível a distância "a" entre os eletrodos é de 1 metro. O deslocamento é feito segundo o arranjo de Wenner, caracterizado pela equidistância entre os quatro eletrodos.

A 1ª medida do 2º nível usa os eletrodos 1 (A), 3 (M), 5 (N) e 7 (B). A 2ª medida do 2º nível usa os eletrodos 2 (A), 4 (M), 6 (N) e 8 (B). A 3ª medida usa os eletrodos 3 (A), 5 (M), 7 (N) e 9 (B) e assim sucessivamente, até que o 25º eletrodo assumira a função de "B" na última leitura deste nível.

A 1ª medida do 6º nível usa os eletrodos 1 (A), 7 (M), 13 (N) e 19 (B). A 2ª medida usa os eletrodos 2 (A), 8 (M), 14 (N) e 20 (B). A última usa os eletrodos 7 (A), 13 (M), 19 (N) e 25 (B).

No 1º nível de investigação a distância entre os eletrodos é de 1 metro. No 2º nível, é de 2 metros, no 3º é de 3 metros e sucessivamente até o 6º nível, onde a distância "a" entre os eletrodos é de 6 metros. A distância entre cada leitura, por sua vez, é de 1 metro em todos os níveis. Admite-se que, ao aumentar a distância "a", aumenta-se a profundidade de investigação, daí o estabelecimento de seis níveis, correspondentes aos seis espaçamentos utilizados. Contudo, dado que o comprimento do cabo é limitado a 25 metros, não se pode aumentar indefinidamente a distância "a". Na prática, costuma-se trabalhar com seis níveis de investigação.

O aumento da distância entre os eletrodos ao longo do comprimento limitado do cabo acarreta que tanto a primeira como a última leitura dos sucessivos níveis sejam deslocadas no sentido do centro do cabo. Isto proporciona uma distribuição trapezoidal para o conjunto de medidas, estando a base maior do trapézio na superfície do terreno.

O 1º nível possui 22 leituras; o 2º possui 19 leituras; o 3º 16 leituras; o 4º 13; o 5º 10 e o 6º nível possui apenas 7 leituras. Ao todo são obtidas 87 leituras por perfilação, com o cabo de 25 metros e seis níveis de investigação. O tempo para obter estas 87 leituras pode variar de 15 minutos até mais de 1 hora dependendo dos parâmetros adotados pelo operador do equipamento, entre eles o número de vezes que uma mesma leitura pode ser repetida, de modo a se obter um valor médio.

A representação espacial das medidas, acompanhada do traçado de linhas de isorresistividade fornece o que se convencionou chamar de pseudoseção. Durante o processamento dos dados, a pseudoseção tem seus valores recalculados, de forma a se obter um modelo capaz de fornecer aquele conjunto de 87 medidas de resistividade aparente.

A utilização do método elétrico de corrente contínua para caracterização de solos no Distrito Federal nos últimos anos possibilitou conhecer a resposta desses solos às variações de umidade (Garcia-Montiel et al, 2008; Martins et al, 2008; Nascimento e Pires, 2011; Nascimento et al, 2001; Nascimento et al, 2003). Essa informação é particularmente importante na região central do Brasil, caracterizada por duas estações climáticas bem definidas ao longo do ano, uma chuvosa e outra seca.

## Resultados

A área de estudo localiza-se na região de Planaltina, Distrito Federal, e fica próxima a duas unidades de conservação, respectivamente Parque Recreativo Sucupira e Parque Ecológico e Vivencial Estância. Essas unidades estão em vias de unificação, o que resultará na criação de uma nova unidade, o Parque Ecológico Sucupira.

Nesse local, em 2006, foi inaugurada a Faculdade UnB Planaltina. A construção desse campus é parte do projeto de expansão da Universidade de Brasília, com o compromisso de ampliar as atividades de ensino, pesquisa e extensão da Universidade em comunidades localizadas fora do centro de desenvolvimento do Distrito Federal. A edificação dos prédios do campus foi precedida por investigações geológico-geotécnicas, entre elas a execução de sondagens a percussão (SPT).

Por meio dessas sondagens foram identificadas na área de estudo cinco diferentes camadas de solo. A camada superficial possui 1 metro de espessura e é formada por material argiloso de cor marrom. A segunda camada possui 2 metros de espessura e é constituída por material argiloso de cor vermelha. A terceira camada apresenta 7 metros de espessura e também é constituída por material argiloso vermelho, diferenciando-se da camada anterior por uma maior resistência à penetração da sonda. A penúltima camada tem 2 metros de espessura e é formada por material argiloso de cor vermelho amarelado. A última camada é formada por material siltoso de cor amarela, sendo que essa sondagem foi encerrada com 15,45 metros de profundidade, sem que fosse atingido o nível freático.

Em outubro de 2012, durante estudos pedológicos na área de vegetação preservada que circunda o campus da UnB em Planaltina foram abertas duas trincheiras. Essas trincheiras possuem dois metros de comprimento, um metro de largura e dois metros de profundidade. A distância entre elas é de 20 metros (Figura 3).



Figura 3. Trincheira escavada na área de estudo para visualização do perfil de solo.

Nesse trabalho foi realizado um imageamento elétrico da subsuperfície com o resistivímetro Geopulse e o sistema multieletrodo. O trabalho foi realizado no dia 28 de novembro de 2012. As medidas foram adquiridas ao longo de uma linha com 50 metros de comprimento, posicionada ao lado das duas trincheiras, as quais foram situadas respectivamente nas marcações 16 e 36 metros. Como o cabo multieletrodo tem 25 metros de comprimento, foi necessário executar três perfilagens com recobrimento parcial para obter um conjunto completo de dados de resistividade.

O processamento dos dados foi realizado por meio do *software* RES2DINV (Loke & Barker, 1995; Loke & Barker, 1996). Esse programa adota uma técnica rápida para a inversão de dados de resistividade aparente com o intuito de converter as seções de resistividade aparente em seções de resistividade real, mais úteis à interpretação geológica ou pedológica. Teoricamente produz um modelo geoeletrico de subsuperfície 2D livre das distorções das pseudo-seções de resistividade aparente causadas pela geometria do arranjo utilizado (Loke & Barker, 1995).

O principal resultado desse trabalho foi uma seção geoeletrica com comprimento de 50 metros e cuja profundidade de investigação chegou a 3,4 metros (Figura 4). Nessa seção foi possível observar que o perfil do solo constitui-se de uma camada superficial com aproximadamente 1 metro de espessura sobreposta à outra camada com aproximadamente 2 metros e ainda uma terceira camada, mais inferior, cuja espessura não foi possível determinar. A primeira camada tem resistividade média de 6000 Ohm.m, a segunda camada tem resistividade média de 15000 Ohm.m e a terceira camada tem resistividade média de 3000 Ohm.m.

As trincheiras escavadas na área de estudo foram visualizadas na seção geoeletrica como anomalias de formato retangular e com resistividade superior a 20000 Ohm.m.

A primeira camada corresponde ao horizonte superficial do solo com acúmulo de matéria orgânica, descrito na sondagem como material argiloso marrom. Aumentando-se a profundidade o solo tende a ficar mais compactado e possivelmente mais seco daí o aumento da resistividade observado entre 1 e 3 metros de profundidade. Os baixos valores de resistividade da última camada podem estar relacionados com o efeito da mudança composicional do solo observado a partir de 3 metros de profundidade. Nessa profundidade o solo adquire maior resistência à penetração da sonda. As trincheiras correspondem à superfícies de contato entre o solo e a atmosfera, através das quais pode ocorrer a evaporação da água do solo. A redução da umidade através dessas superfícies pode explicar o aumento da resistividade nos locais das trincheiras.

## Conclusões

O método da eletrorresistividade apresentou eficácia na obtenção de uma seção geoeletrica na área de estudo. Nesse caso a variação vertical da resistividade correspondeu às camadas de solo observadas numa sondagem percussiva realizada anteriormente. As anomalias resistivas corresponderam às trincheiras abertas na área de estudo. Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se a coleta de amostras de solo simultaneamente a execução do levantamento geofísico e em diferentes profundidades para a determinação da umidade do solo.

## Referências

- EMBRAPA, 1999, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Garcia-Montiel, D. C., Coe, M. T., Cruz, M. P., Ferreira, J. N., Silva, E. M., Davidson, E. A., 2008, Estimating seasonal changes in volumetric soil water content at landscape scales in a savanna ecosystem using two-dimensional resistivity profiling: *Earth Interactions*, 12, 1-25.
- Griffiths, D. H., Barker, R. D., 1993, Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology: *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Loke, M. H., Barker, R. D., 1995, Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections: *Geophysics*, 60, 1682-1690.
- Loke, M. H., Barker, R. D., 1996, Rapid Least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-newton method: *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
- Martins, E. S., Carvalho Júnior, O. A., Mello, G. A., Reatto, A., Moraes, R. A. V., Pires, A. C. B., Guimarães, R. F., 2008, Mapeamento da superfície basal do manto de intemperismo pelo comportamento da resistividade elétrica do Distrito Federal: *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 9, 15-28.
- Nascimento, C. T. C., Pires, A. C. B. 2011. Determinação da estrutura vertical de latossolos usando sondagens elétricas verticais. 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Nascimento, C. T. C., Pires, A. C. B., Moraes, R. A. V., 2003, Variação sazonal da resistividade em latossolos: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Nascimento, C. T. C., Varella, R. F., Pires, A. C. B., Santos, R. V., 2001, Valores de resistividade elétrica em um latossolo do Distrito Federal: 7th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Orellana, E., 1972, *Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua*: Paraninfo.

Tan, K. H., 1994, Environmental Soil Science: Marcel Dekker.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., 1990, Applied Geophysics: Cambridge University Press.

Vieira, L. S., Vieira, M. N. F., 1983, Manual de Morfologia e Classificação de Solos: Ceres.

Volkoff, B., 1978, Os produtos ferruginosos que determinam a cor dos latossolos da Bahia: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2, 55-59.

### **Agradecimentos**

Ao Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília por disponibilizar o resistivímetro. Andréia Almeida, Rafael Silva e Vanessa Silva pelo auxílio durante os trabalhos de campo.

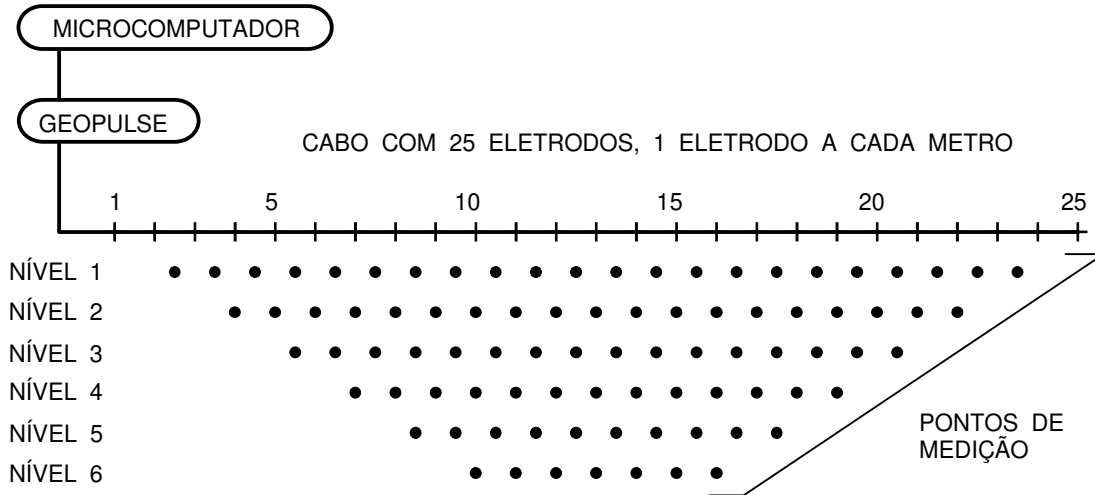


Figura 2. Execução de uma perfilagem elétrica horizontal de modo automático com o Geopulse. Modificado de Griffiths e Barker (1993).

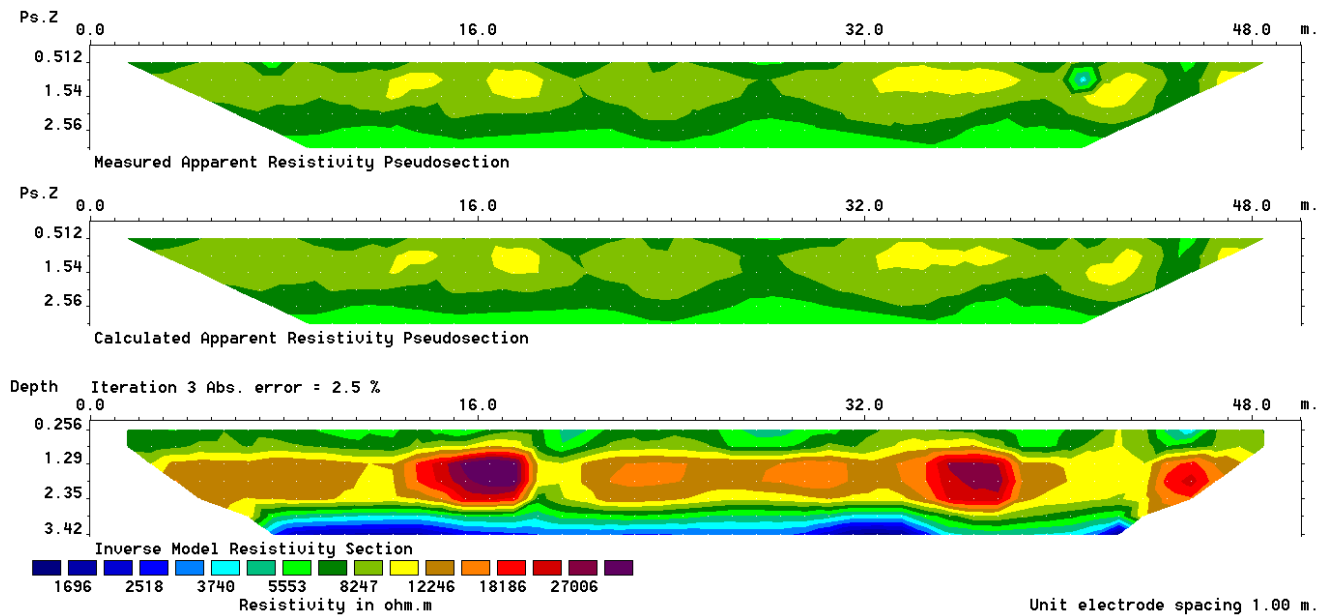


Figura 4. Seção geométrica obtida na área de estudo, onde é possível observar a variação vertical da resistividade e também as anomalias resistivas geradas pelas trincheiras.