



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

## **USO DE BARRAS DE FERRO PARA DIFERENCIAÇÃO ENTRE HORIZONTES DE TRÊS CLASSES DE SOLO UTILIZANDO RADAR DE PENETRAÇÃO DO SOLO (GPR) COM ANTENA MONOESTÁTICA DE 750 MHZ**

Hugo Machado Rodrigues <sup>(a)</sup>, Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento <sup>(b)</sup>,  
Marcos Bacis Ceddia <sup>(c)</sup>, Gustavo Mattos Vasques <sup>(d)</sup>, Juliana Ferreira Nunes <sup>(e)</sup>,  
Fernanda Barbosa dos Santos <sup>(f)</sup>

<sup>(a)</sup> Departamento de Solos, UFRRJ, rodrigues.machado.hugo@gmail.com

<sup>(b)</sup> Departamento de Solos, UFRRJ, carloswagner.geologia@yahoo.com

<sup>(c)</sup> Departamento de Solos, UFRRJ, marcosceddia@gmail.com

<sup>(d)</sup> Embrapa Solos, gustavo.vasques@embrapa.br

<sup>(e)</sup> Instituto de agronomia, UFRRJ, jufnunes2@gmail.com

<sup>(f)</sup> Instituto de Agronomia, UFRRJ, barbosafernanda299@gmail.com

**Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais.**

### **Resumo**

O Radar de Penetração do Solo (RPS) é uma ferramenta geofísica para o estudo de solos. A confiabilidade para interpretação dos seus resultados depende da correlação entre os dados geofísicos com os dados coletados em campo. O uso de barras de ferro pode ser uma alternativa para demarcar a profundidade dos horizontes do perfil e fornecer um indicador no radargrama. O objetivo deste trabalho foi averiguar se o uso de barras de ferro é uma ferramenta viável para a demarcação das profundidades em três perfis de solos distintos (ARGISSOLO, PLANOSSOLO e CAMBISSOLO) utilizando uma antena monoestática blindada de 750 MHz. Como resultados, percebeu-se que algumas barras foram visualizadas, sendo melhores no PLANOSSOLO, em que predomina matriz arenosa. Nos outros solos, as barras foram vistas com menor nitidez e em uma faixa de profundidade menor, quando comparadas às hipérbolas vistas no radargrama do PLANOSSOLO, ou mesmo suprimidas.

**Palavras chave:** solos, radargrama, antena monoestática de 750 MHz, GPR.

### **1. Introdução**



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

No campo da Pedologia aplicada à agricultura há uma constante busca por novas tecnologias no processo de mecanização das lavouras que visam diminuir os gastos de tempo e dinheiro em análises convencionais de campo (ADAMCHUK et al., 2004).

Uma possibilidade é o Radar de Penetração do Solo (*Ground Penetrating Radar - GPR*), um método geofísico elétrico não invasivo ao meio natural, sendo utilizado em estudos de investigação de regiões rasas do terreno com o uso de antenas de altas frequências que variam de 10 MHz a 1 GHz (ANNAN, 2009). Os resultados gerados pelo GPR são representados em uma imagem denominada radargrama. A nitidez da imagem depende dos diversos constituintes e fases do solo, cada um com propriedades físicas distintas, como a constante dielétrica (K), que representa a resistência de um material em conduzir corrente elétrica. Por via de regra, quando estes constituintes apresentam valores da constante K muito distintos entre si, obtém-se o melhor imageamento das feições do solo no radargrama (DE BENEDETTO et al., 2010).

Um grande entrave na interpretação do GPR refere-se à relação dos dados coletados no radargrama com o que é visto em campo. No estudo de Pedologia, a abertura, descrição e análises físicas do solo em trincheiras podem favorecer a análise comparativa do que é visto em campo pelo pesquisador com o radargrama. No caso do GPR com antenas monoestáticas (em que a parte receptora e transmissora do sinal estão acoplados em um único dispositivo), a profundidade do radargrama não pode ser feita por um método de maior precisão, como o *Common MidPoint*, pois este depende que as partes transmissora e receptora estejam em dispositivos separados (antena biestática) (ANNAN, 2003).

Desta forma, é necessária uma metodologia que possa calibrar a profundidade vista em campo com o que é registrado no radargrama. Apesar dos vieses que a inserção de barras de ferro no solo pode oferecer (pois podem modificar em pequena escala as propriedades do solo), esta metodologia ainda pode ser uma opção para calibrar a profundidade de alvos de interesse no solo (JACOB; URBAN, 2015).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi analisar se a inserção de barras de ferro colocadas em perfis de solo permite que as profundidades das transições dos horizontes sejam



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

identificadas nos radargramas (sob forma de hipérboles) gerados por um GPR com uma antena monoestática blindada de 750 MHz.

## 2. Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Fazendinha Agroecológica Km 47 (Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA), associada à Embrapa Agrobiologia, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-Rio) e da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ nas coordenadas geográficas 22° 45' S e 43° 40'30'' W (Figura 1).

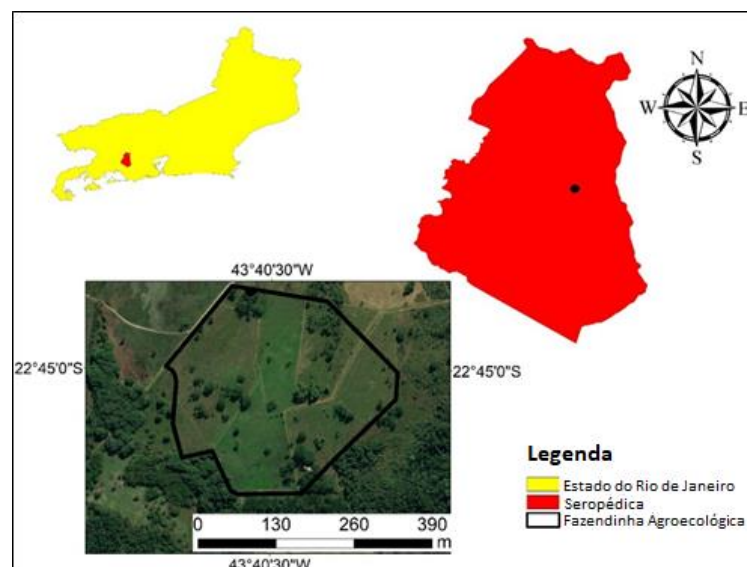


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Para este trabalho, foram abertas três trincheiras em diferentes pontos da paisagem, onde foram descritos e classificados perfis do solo, sendo uma trincheira no terço médio (P3), um no sopé da vertente (P2) e um na área de baixada (P1). As posições dos perfis de solos na área estão representadas na Figura 2. Os perfis foram descritos e coletados seguindo as normas do



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015). Foram coletadas amostras deformadas, guardadas em sacos plásticos que foram previamente identificadas, para posterior caracterização dos atributos físicos em laboratório de acordo com as recomendações expressas em Donagemma et al. (2011).

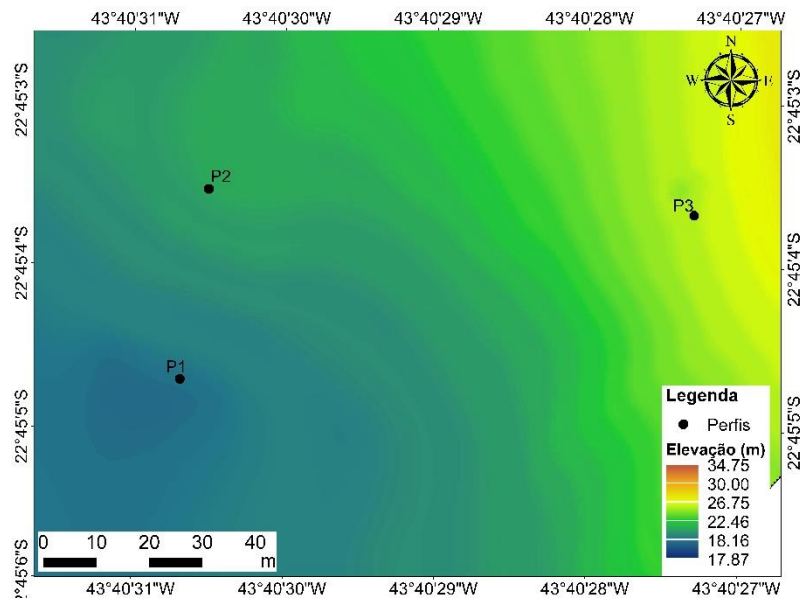


Figura 2. Mapa de localização dos perfis de solo na área de estudo, mostrando o modelo digital de elevação do terreno no fundo.

Os perfis foram, então, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). O P1 foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico; o P2 como PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico (P2) e o P3 foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico.

Após a delimitação dos horizontes em cada solo, foi inserida uma barra de ferro com dimensões de 80 cm de comprimento por 8 mm de diâmetro na transição de cada horizonte em cada perfil de solo. Depois, navegou-se sobre os três perfis de solo com o GPR MALÅ GroundExplorer, (Guideline Geo AB, Sundbyberg, Suécia), com odômetro, usando uma antena



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

monoestática blindada de 750 MHz. Ao final do procedimento de campo, obtiveram-se três radargramas dos perfis individuais.

Para a interpretação do perfil de solo estudado dentro de cada radargrama, foi anotada em campo a posição espacial do perfil dentro do radargrama. Também, foram registradas a distância de cada barra de ferro até os limites laterais de cada perfil e suas profundidades.

Após a coleta dos radargramas, os arquivos foram retirados do computador do GPR e colocados em um segundo computador, para posterior processamento de dados utilizando o software ReflexW, desenvolvido por Sandmeier (2009) (Sandmeier Software, Karlsruhe, Alemanha). O processamento das imagens seguiu apenas dois procedimentos realizados em sequência: *Static correction* e *Dewow*.

### 3. Resultados e discussões

As profundidades, as granulometria e as cores dos horizontes do CAMBISSOLO HÁPLICO (P1) estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela I. Profundidades, texturas e cores úmidas dos horizontes do Cambissolo (P1).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia	Argila	Cor úmida
A1	0-10	594	206	7,5YR2,5/1
A2	10-16	559	269	7,5YR 3/1
BA	16-30	563	319	7,5YR 4/4
B1	30-54	510	339	7,5YR 5/8
B2	54-87	619	287	10 YR 5/8
BC	87-115	648	271	N6/
CB	115-130 <sup>+</sup>	701	146	N6/

Como pode ser visto, o solo apresenta uma textura com mais de 200 g.kg<sup>-1</sup> de argila desde a superfície, com sua diminuição a partir de horizontes mais profundos (B2). Cor neutra (N6/) mostra que o processo de redução é um fator que atua neste perfil, o que é condizente por este solo estar em área de baixada, região onde há influência do lençol freático de forma





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

temporária ou permanente ao longo do ano. Neste solo, a disposição das barras está representada na Figura 3.



Figura 3. Disposição das barras no P1. O sentido do caminhamento foi da direita para a esquerda

Foram vistas as três primeiras transições sob forma de hipérboles (Figura 4). Em relação a este solo, a transição mais profunda que o GPR assinalou foi a da barra de ferro em 30 cm de profundidade.

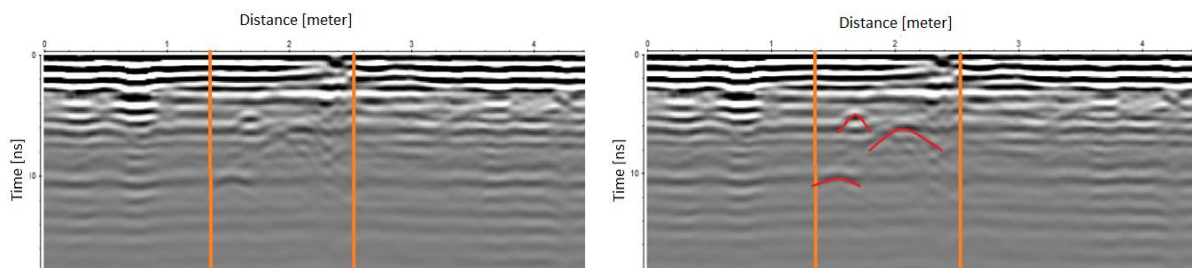


Figura 4. Demarcação em laranja do perfil do solo (P1) dentro do radargrama (à esquerda) e demarcação em vermelho das hipérboles geradas pelas barras de ferro (à direita).

As assinaturas das barras mais profundas podem ter sido suprimidas devido aos teores relativamente altos de argila ainda em superfície, o que pode ter causado dissipação do sinal (DANIELS; GUNTON; SCOTT,1988). Também, percebe-se que as hipérboles vistas no



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

radargrama apresentaram uma má definição mesmo em regiões mais rasas do solo. Porém, ainda foi possível delimitá-las com certa facilidade, o que indica que o uso de barras de ferro pode ser favorável nestas condições.

No caso do PLANOSSOLO HÁPLICO (P2), as profundidades, as análises granulométricas e as cores dos horizontes estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela II. Profundidades, texturas e cores úmidas dos horizontes do Planossolo (P2).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia	Argila	Cor úmida
A	0-8	809	99	5YR 4/1
AE	8-22	876	43	7,5YR 4/1
E	22-69	831	92	10 YR 5/2
BE	69-92	564	388	10YR 4/6
Bt1	92-133	441	443	10YR 4/3
Bt2	133-155 <sup>+</sup>	513	367	10 YR 4/4

Os primeiros três horizontes possuem matriz tipicamente arenosa, com menos de 100 g.kg<sup>-1</sup> de argila. Além disso, ocorre uma mudança textural abrupta na passagem do horizonte E para o subjacente, com um aumento de cerca de 4 vezes de argila em BE. A disposição das barras de ferro no P2 está apresentada na Figura 5.



Figura 5. Disposição das barras de ferro no P2. O sentido do caminhamento foi da direita para esquerda.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Neste solo, as três hipérbolas demarcaram as primeiras três transições no radargrama (Figura 6). Mas, diferente da P1, a barra mais profunda assinalada no radargrama está a 69 cm de profundidade, 39 cm a mais que a barra mais profunda no radargrama do P1.

Uma feição no radargrama sugere que há uma delimitação da base do horizonte E para o BE. Essa feição é confirmada pela posição da hipérbole mais inferior na imagem, visto que há uma barra correspondente inserida nesta transição, o que possibilita a identificação de uma camada guia para a transição de E para BE dentro do perfil (demarcada em amarelo).

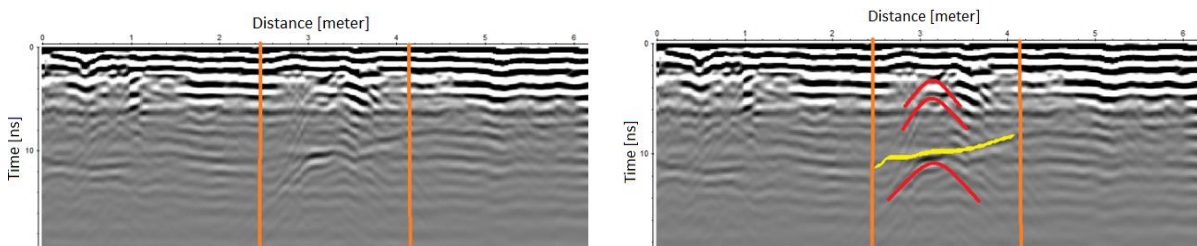


Figura 6. Demarcação em laranja do perfil do solo (P2) dentro do radargrama (à esquerda) e demarcação em vermelho das hipérbolas geradas pelas barras de ferro com a demarcação da base do horizonte E em amarelo (à direita).

Dois aspectos merecem destaque. O primeiro são as hipérbolas, principalmente as mais superiores, pois apresentam baixa nitidez, mesmo estando em matriz arenosa ( $< 100 \text{ g.kg}^{-1}$ ). O segundo aspecto é que a camada guia apresenta má nitidez e má delimitação, apesar de haver uma grande mudança textural de E para BE (o que implica em grande mudança da constante K do horizonte E para o subjacente). Essas duas análises contrastam De Benedetto et al. (2010), visto que as barras de ferro foram inseridas em matriz arenosa constituída, principalmente, por quartzo. Além disso, a grande diferença textural entre esses dois horizontes deveria formar sinais mais nítidos no radargrama.

Dois aspectos podem ter atenuado esses sinais: primeiro, o resultado da alta frequência da antena utilizada no solo que, mesmo em matriz arenosa, pode causar dispersão do sinal. O segundo motivo pode ser o limite de alcance da antena, que pode desfavorecer o aparecimento de feições de interesse em profundidades. Porsani (1999) estipulou uma profundidade média para o alcance de uma antena de 1000 MHz para 1 metro. Como a matriz do solo é tipicamente





XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

arenosa, o que deveria favorecer as leituras em maiores profundidades, então, a antena de 750 MHz pode ter limitações em regiões mais profundas, o que pode resultar em má visibilidade de alvos mais profundos no solo, mesmo com mudanças significativas dos valores de K.

Para os dados do ARGISSOLO VERMELHO (P3), os dados morfológicos e físicos estão expressos na Tabela 3.

Tabela III. Profundidades, texturas e cores úmidas dos horizontes do Argissolo (P3).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia	Argila	Cor úmida
A	0-10	544	307	5YR 3/1
AB	10-26	568	260	5YR 3/2
BA	26-48	486	349	5 YR 4/4
Bt1	48-65	482	396	2,5YR 3/6
Bt2	65-86	421	421	2,5YR 3/6
Bt3	86-108	212	657	2,5 R 3/6

Este solo apresenta os valores de argila mais altos desde a superfície, aumentando ainda mais em profundidade. Além disso, percebe-se que este solo possui cores alaranjadas (5YR) à avermelhadas (2,5 YR). Isso indica a presença de óxidos de ferro, como goethita e hematita em pelo menos 1 % do volume da fração argila neste solo (ALMEIDA; MAÇANEIRO; KLAMT, 2000). A disposição das barras de ferro está expressa na Figura 7.



Figura 7. Disposição das barras de ferro no P3. O sentido do caminhamento foi da direita para a esquerda.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Neste solo não houve demarcação das hipérboles no radargrama, como pode ser visto na Figura 8.

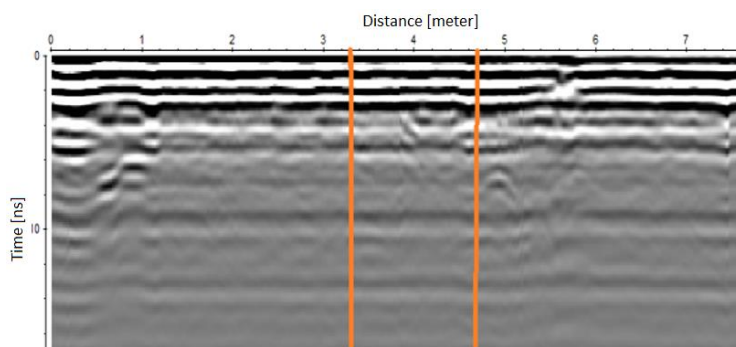


Figura 8. Demarcação do perfil do solo (P3) dentro do radargrama. Não houve discriminação de hipérboles neste radargrama.

A supressão das hipérboles neste radargrama pode ser resultado de dois fatores intrínsecos do próprio solo: altos teores de argila desde a superfície e a presença dos óxidos de ferro (DANIELS; GUNTON; SCOTT, 1988), associados com o tipo de antena utilizada.

Em relação ao próprio solo, a alta quantidade de argila desde a superfície pode ter acarretado grande dissipação do sinal, impedindo que o sinal retorne ao GPR, além de que os minerais da fração argila são, em parte, formados por íons de ferro, podendo ter equalizado as constantes K entre a barra e o solo (DE BENEDETTO et al., 2010).

Esses fatores são maximizados, ainda, pela alta frequência da antena. A alta frequência acarreta em uma grande interação com as partículas do solo, promovendo maiores dissipações do sinal e criação de ruídos no radargrama. Estes fatores associados podem ter suprimido a assinatura das barras de ferro no radargrama. Neste caso, estes resultados corroboram com a sugestão de Doolittle; Collins (1995) de que antenas de mais baixas frequências (< 500 MHz) são mais indicadas em solos com características condutoras.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

#### 4. Considerações finais

O uso de barras de ferro apresentou limitações para o uso da antena de 750 MHz. Essas limitações são referentes à má nitidez das hipérbolas que demarcam as transições, podendo ser completamente suprimidas em solos com textura argilosa (como visto no ARGISSOLO). O mais indicado é que as barras de ferro sejam utilizadas em solo com matriz arenosa, onde apresentam hipérbolas com melhores resoluções.

#### 5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### 6. Referências Bibliográficas

ADAMCHUK, V.I. et al. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, [S.l.], v. 44, p. 71–91, 2004.

ALMEIDA, J.A., MAÇANEIRO, K. C.; KLAMT, E. Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do Planalto de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 24, p. 815-828, 2000.

ANNAN, J.P. **Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications**. Ontario: Sensors and Software Inc., 2003.

ANNAN, A.P. Electromagnetic principles of ground penetrating radar. In: Jol, H.M. (Ed.) **Ground Penetrating Radar: Theory and Applications**. Amsterdam: Elsevier Science, 2009, p. 3-40.

DANIELS, D.J.; GUNTON, D.J.; SCOTT, H.F. Introduction to subsurface radar. **IEE Proc**, v. 135, p. 278-320, 1988.

DANIELS, D.J. **Ground-penetrating radar**, 2nd ed. London: The Institution of Electrical Engineers, 2004.

DE BENEDETTO et al. Spatial relationship between clay content and geophysical data. **Clay Minerals**, [S.l.], v. 45, p. 197–207, 2010.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

DONAGEMMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DOOLITTLE, J.A.; COLLINS, M.E. Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. **Journal of Applied Geophysics**, [S.l.], v. 33, p. 101-108, 1995.

JACOB, R.W.; URBANL, T.M. Ground-Penetrating Radar Velocity Determination and Precision Estimates Using Common-Mid-Point (CMP) Collection with Hand-Picking, Semblance Analysis, and Cross-Correlation Analysis: a Case Study and Tutorial for Archaeologists. **Faculty Journal Articles**, [S.l.], p. 1-18, 2015.

PORSANI, J.L. **Ground Penetrating Radar (GPR)**: Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado-SP. 1999. 145 f. Tese (Doutorado em Geofísica), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1999.

SANDMEIER, K.J. **ReflexW Version 7.5. Program for processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Manual do Software**. Germany: Karlsruhe, 2009. 345 p.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, R.D. et al. **Manual de descrição e coletas de solos no campo**. 7.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.