



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

IDENTIFICAÇÃO DE LIMITES ENTRE DUAS CLASSES DE SOLO UTILIZANDO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO COM PROFUNDIDADES AJUSTADAS POR BARRAS DE FERRO E VALIDAÇÃO COM TRADO HOLANDÊS.

Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento ^(a), Hugo Machado Rodrigues ^(b),
Marcos Bacis Ceddia ^(c), Gustavo Mattos Vasques ^(d), Suelen Marques de Oliveira
Durão ^(e), Hugo Felipe Vianna Figueira ^(f)

^(a) Departamento de Solos, UFRRJ, carloswagner.geologia@yahoo.com

^(b) Departamento de Solos, UFRRJ, rodrigues.machado.hugo@gmail.com

^(c) Departamento de Solos, UFRRJ, marcosceddia@gmail.com

^(d) Embrapa Solos, gustavo.vasques@embrapa.br

^(e) Instituto de agronomia, UFRRJ, susumarques1603@hotmail.com

^(f) Departamento de Solos, UFRRJ, hugofigueirah@hotmail.com

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi delimitar a transição entre um Planossolo Háplico e um Argissolo Vermelho em uma topossequência, localizada em Seropédica-RJ, utilizando o Radar de Penetração no Solo (RPS). Assim, foram descritos dois perfis de solo, um em cada extremidade do transecto, em que foram inseridas barras de ferro nas transições entre os horizontes. Depois realizaram-se leituras com o RPS utilizando uma antena monotestática blindada de 450 MHz sobre cada perfil e uma contemplando o transecto. Como resultado, a barra associada à base do horizonte E do Planossolo no radargrama possibilitou identificar seu limite em campo. Depois, utilizou-se um trado Holandês onde houve a transição entre os tipos de solos no radargrama, confirmando a transição em campo. Conclui-se que o RPS com antena monoestática, aliado ao uso de barras de ferro, demonstra potencial para auxiliar na identificação em detalhe dos limites de classes de solo com características físicas distintas.

Palavras chave: Georadar, geofísica de exploração, mapeamento pedológico, tradagem.

1. Introdução

A identificação dos limites entre classes de solos é um desafio que há muito tempo é enfrentado com o uso de trincheiras em campo ou pela simulação mental de um pedólogo experiente. O cientista do solo que objetiva demarcar as linhas de delimitação entre os solos em campo pode lançar mão ao Radar de Penetração no Solo - RPS, que é um sensor geofísico classificado como proximal, uma vez que dispensa revolvimento e coleta de solo para análise em laboratório. Esse equipamento permite identificar por meio de imagens (denominadas



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

radargramas) a profundidade e extensão das feições presentes em subsuperfície (ANNAN, 2009). Essa característica pode ser relevante quando se pretende realizar mapeamento de solos ao longo de uma topossequência (UCHA et al., 2002).

Contudo, ainda assim são necessários dados de campo para que haja a interpretação do radargrama de forma acurada. Em pedologia pode-se realizar o estudo de perfis de solos em trincheiras e/ou tradagens, embora essa seja uma metodologia limitante para o reconhecimento detalhado dos tipos de solo de uma região. Por outro lado, uma limitação do RPS refere-se ao modelo de antena escolhido para o estudo geofísico. No caso das antenas monoestáticas (com partes receptora e transmissora do sinal formando um só dispositivo), não é possível gerar um modelo de profundidade com precisão no radargrama, como o gerado a partir do *Common MidPoint*, pois, este é dependente de uma antena que tenha as partes transmissora e receptora separadas (antena biestática) (ANNAN, 2003).

Nesta perspectiva, a inserção de barras de ferro é uma alternativa para calibrar a profundidade observada no radargrama com a que é vista em campo, apesar de as barras influenciarem localmente as propriedades do solo e apresentarem resultados que são limitados lateralmente no radargrama (JACOB; URBAN, 2015).

Sendo assim, em casos de solos com características físicas bastante distintas entre si (como o Argissolo Vermelho e o Planossolo Háptico explorados neste trabalho), é possível que o RPS consiga mapear zonas de ocorrências dessas classes de forma nítida no radargrama. Além disso, a barra de ferro pode atuar como parâmetro na identificação de alguma feição de interesse de alguma característica em um ou ambos os solos no radargrama.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi investigar a transição entre um Argissolo Vermelho e um Planossolo Háptico, presentes em um transecto de 70 m de extensão na Fazendinha Agroecológica, no município de Seropédica-RJ, utilizando um RPS com antena monoestática blindada de 450 MHz e utilizando barras de ferro como subsídio para aferir a profundidade de possíveis feições de interesse do solo no radargrama. Aliado ao uso de barras



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

de ferro, lançou-se mão de algumas tradagens no local de transição entre os tipos de solos identificados pela imagem do radargrama para fins de verdade de campo.

2. Materiais e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido na Fazendinha Agroecológica Km 47 (Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA) localizada em Seropédica, Rio de Janeiro, nas coordenadas geográficas 22° 45' S e 43° 40'30'' W. Foram abertas duas trincheiras em dois pontos da paisagem, onde foram descritos e classificados dois perfis do solo, sendo um perfil no terço médio (P3) e um no sopé da vertente (P2) (Figura 1).

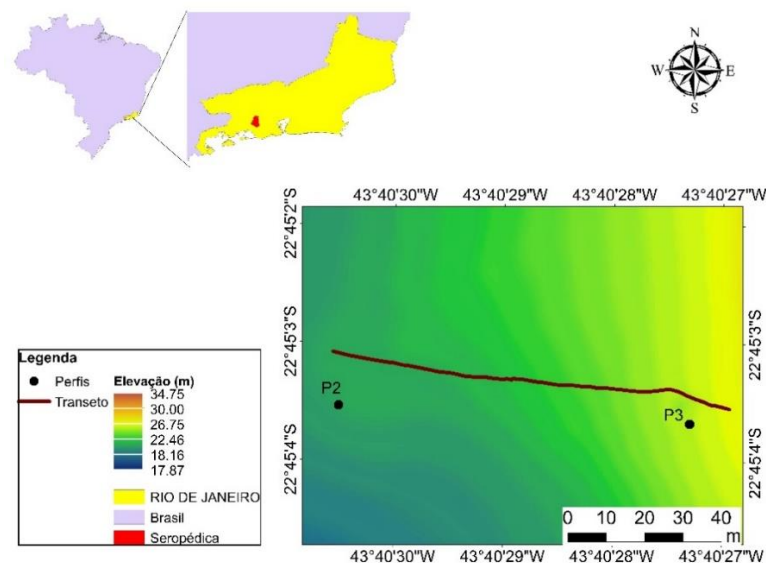


Figura 1 - Mapa de localização dos perfis de solo e do transecto na área de estudo, mostrando o modelo digital de elevação do terreno no fundo.

Os perfis foram descritos e coletados seguindo as normas do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015). Os atributos físicos em laboratório foram caracterizados de acordo com as recomendações expressas em Donagemma et al. (2011). Os solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et



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

al., 2018), sendo o P2 classificado como Planossolo Háptico Distrófico arênico e o P3 como Argissolo Vermelho Eutrófico nitossólico.

Após a delimitação dos horizontes em cada perfil de solo, foi inserida uma barra de ferro com dimensões de 80 cm de comprimento e 0,8 cm de diâmetro na transição de cada horizonte em cada perfil de solo. Em seguida, navegou-se sobre os dois perfis com o RPS MALÅ GroundExplorer, (Guideline Geo AB, Sundbyberg, Suécia), com odômetro, usando uma antena monoestática blindada de 450 MHz. Posteriormente, foi feito o transecto de P2 para P3 com o RPS, passando sobre os dois perfis. Ao final do procedimento de campo obtiveram-se dois radargramas dos perfis individuais e um radargrama representando o transecto. Para verificação do momento de transição indicado pelo radargrama como os limites entre tipos de solos, foram amostrados alguns pontos com trado holandês onde havia indícios de transição visualizados na imagem do RPS.

Para a interpretação e a correlação entre o perfil de solo e a sua respectiva posição no radargrama, foram tomadas as coordenadas dos perfis, bem como as distâncias das barras de ferro até os limites laterais das paredes do perfil. O processamento das imagens foi feito no software ReflexW, desenvolvido por Sandmeier (2009) (Sandmeier Software, Karlsruhe, Alemanha) e utilizaram-se dois processamentos para melhoria visual: *Static correction* e *Dewow*.

Após identificar as hipérbolas geradas pelas barras de ferro nos radargramas individuais, ajustaram-se hipérbolas de maneira manual referentes às velocidades do pulso magnético emitido pelo RPS. Em seguida, um modelo de profundidade foi ajustado a partir das velocidades medidas nos radargramas individuais de cada solo (SANDMEIER, 2009). Por fim, a velocidade escolhida para o ajuste do modelo de profundidade do transecto foi aquela que associou a feição exibida no radargrama com a real posição das barras de ferro.

3. Resultados e discussões

No caso do Planossolo Háptico (P2), o aspecto mais relevante neste solo é a presença de mudança textural abrupta na transição do horizonte E para o Bt1 (Tabela 1). Nesta transição



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

acontece um aumento de 4,2 vezes no teor de argila no horizonte Bt1. Por outro lado, o Argissolo Vermelho apresenta os teores de argila mais altos desde a superfície, aumentando ainda mais em profundidade, como também podem ser vistos na Tabela 1. As disposições das barras de ferro nos perfis P2 e P3 são apresentadas na Figura 2.

Tabela I - Profundidades e texturas dos horizontes do Planossolo Háplico (P2) e do Argissolo Vermelho (P3).

Planossolo Háplico (P2)				ARGISSOLO VERMELHO (P3)			
Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
A	0-8	809	99	A	0-10	544	307
AE	8-22	876	43	E	10-26	568	260
E	22-69	831	92	BA	26-48	486	349
Bt1	69-92	564	388	Bt1	48-65	482	396
Bt2	92-133	441	443	Bt2	65-86	421	421
Bt3	133-155 ⁺	513	367	Bt3	86-108	212	657
-	-	-	-	Bt4	108-147 ⁺	112	779

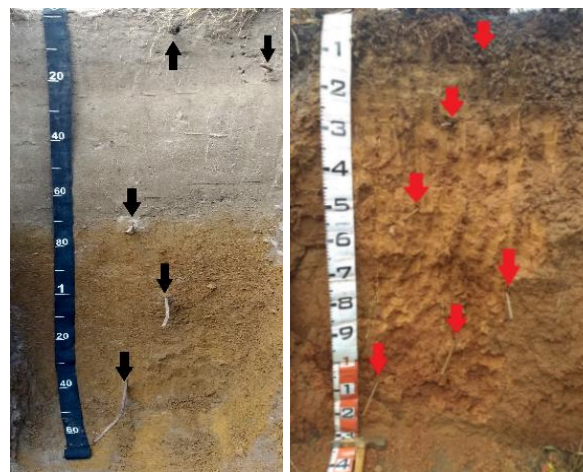


Figura 2 - Disposição das barras de ferro no P2 (à esquerda) e do P3 (à direita). As setas indicam onde as barras foram inseridas na parede do perfil. Em ambos os casos o sentido do caminhamento com o RPS foi da esquerda para direita.

No radargrama do Planossolo Háplico as três primeiras transições foram evidenciadas com boa visibilidade. A maior profundidade da barra de ferro vista neste radargrama foi de 69 cm, que marca a transição do E para o Bt1 (Figura 3). Associada a essa barra, aparece uma



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

feição que, em primeira análise, pode ser uma camada guia associada à base do horizonte E (destacada em amarelo) (Figura 3b).

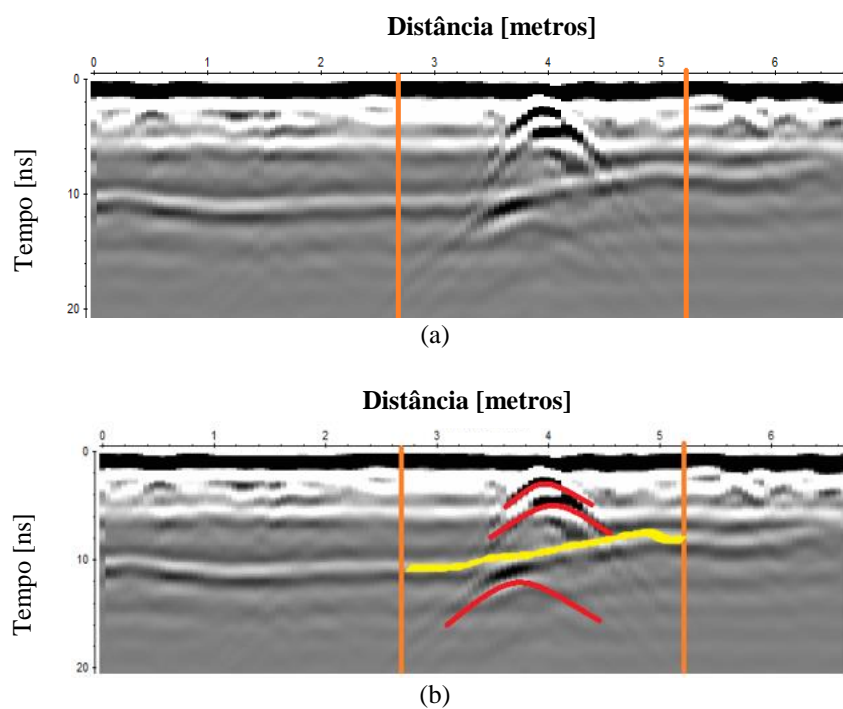
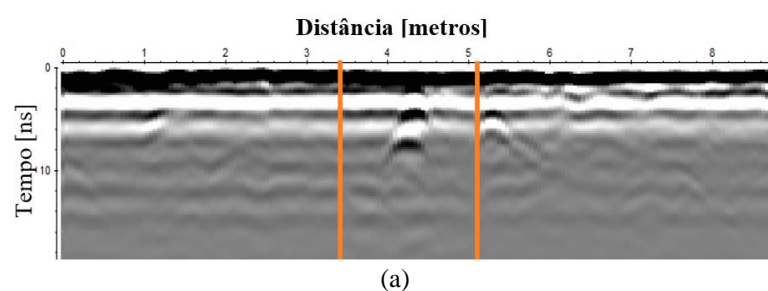


Figura 3 – Delimitação do perfil do solo (P2) dentro do radargrama em laranja (a) e demarcação em vermelho das hipérbolas geradas pelas barras de ferro. Em (b) mostra a possível camada guia da base do horizonte E em amarelo.

No caso do Argissolo Vermelho também houve a demarcação das hipérbolas das primeiras três transições. Porém, diferente do Planossolo, as hipérbolas foram bem menos visíveis (Figura 4).





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

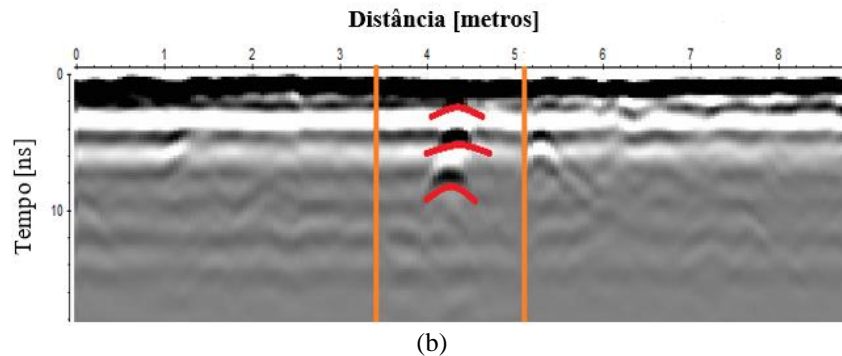


Figura 4 – Em (a) foi feita a delimitação do perfil do solo (P3) dentro do radargrama em laranja, enquanto que em (b) foi feita a demarcação em vermelho das hipérboles geradas pelas barras de ferro.

Além disso, não houve nenhuma feição de interesse bem definida dentro do perfil do Argissolo Vermelho no radargrama que pudesse ser estendida lateralmente para o restante do transecto. Posteriormente, foram inseridas as hipérboles de velocidade nas transições vistas no radargrama do Planossolo Háptico a fim de investigar se a velocidade do pulso no solo seria única para as três transições e, conseqüentemente, se é possível ajustar um modelo de profundidade acurado. Neste caso, o radargrama apresentou a velocidade de 0,145 m/ns, o que ajustou as profundidades das três transições com as que foram descritas em campo (Figura 5).

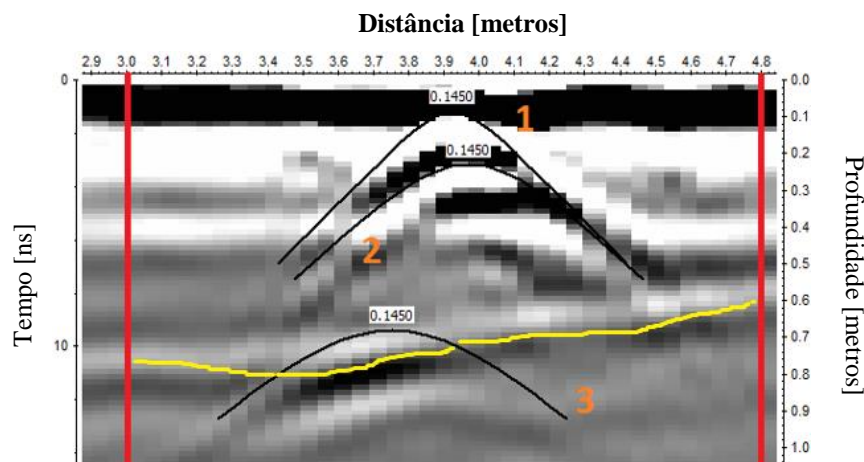


Figura 5 - Radargrama do perfil P2 mostrando a velocidade de pulso estimada a partir das hipérboles ajustadas (em preto), as linhas vermelhas indicam os limites laterais da parede do perfil e a linha amarela mostra a transição do horizonte E para Bt1. Os números em laranja indicam as transições dos horizontes, de cima para baixo (conforme a Tabela 1).



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

Além disso, o ajuste da profundidade deste radargrama permitiu identificar a feição vista na Figura 3 como a transição da base do horizonte E para o horizonte Bt1, sendo confirmada com camada guia da base do horizonte E no radargrama.

Da mesma maneira, ajustaram-se hipérbolas de velocidades para as três transições do Argissolo Vermelho. Neste caso, a velocidade encontrada foi de 0,175 m/ns, o que também ajustou as primeiras três transições com as profundidades vistas em campo (Figura 6).

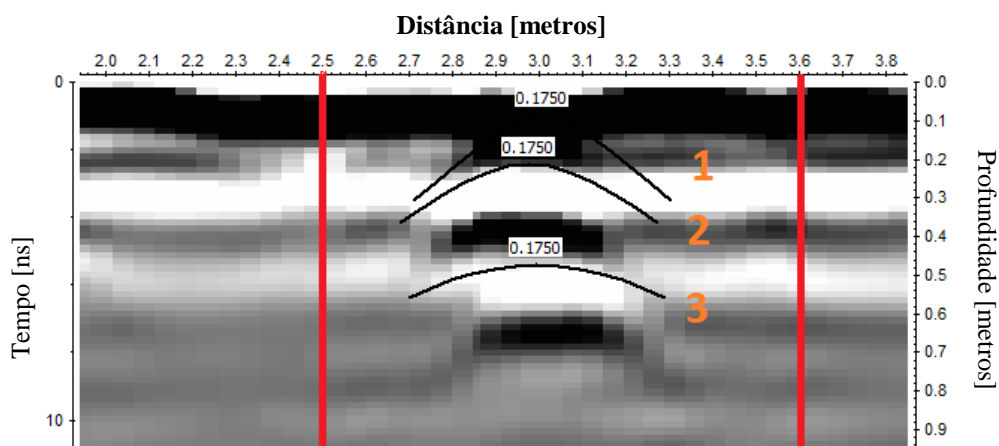


Figura 6 - Radargrama do perfil P3 mostrando a velocidade de pulso estimada a partir das hipérbolas ajustadas (em preto), enquanto que as linhas vermelhas indicam os limites laterais da parede do perfil. Os números em laranja indicam as transições dos horizontes, de cima para baixo (conforme a Tabela 1).

A análise do modelo de profundidade confirma que não há uma feição característica no radargrama individual do Argissolo que possa ser estendida no radargrama do transecto. Neste solo não foi possível visualizar nenhum contraste na profundidade referente à transição do horizonte E, possivelmente devido às diferenças dos materiais serem muito baixas em relação aos horizontes sub e sobrejacente (Tabela 1) (De BENEDETTO et al., 2010), diferente do que acontece na transição do horizonte E para o subjacente do Planossolo.

Como a transição do horizonte E para o Bt1 vista no radargrama individual do Planossolo é a característica mais distintiva dentre os dois solos, preferiu-se investigar o limite entre ambas as classes a partir do comportamento da profundidade teórica do horizonte E no radargrama do transecto. Para isso, utilizou-se o valor de 0,145 m/ns para ajustar um modelo



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

de profundidade para o radargrama. Em seguida, estendeu-se a camada guia da base do horizonte E lateralmente (em amarelo) até a distância em que não ocorresse mais sua correlação visual na imagem. O caminhamento do RPS ao longo do transecto ocorreu de P2 para P3, subindo a vertente e passando sobre a parede do perfil em que estavam as barras (Figura 7).

Contudo, como as velocidades medidas nos radargramas individuais foram diferentes (0,145 e 0,175 m/ns), o modelo de profundidade para o radargrama do transecto gerado a partir de uma única velocidade poderá resultar em desvios das profundidades que são vistas em campo, principalmente onde há características físicas e químicas que são distintas da composição de onde foi estipulada, no radargrama, a velocidade do pulso no solo. Assim, a profundidade estipulada torna-se mais confiável, neste caso, na região do radargrama onde permanece o horizonte E do Planossolo.

Sendo assim, observou-se que no momento em que não houve mais a correlação visual do horizonte E do Planossolo coincidiu com a transição de tipos de solo em campo, fato verificado pelas tradagens. Demonstrando o potencial do RPS para identificar os limites entre características distintas desses dois solos.

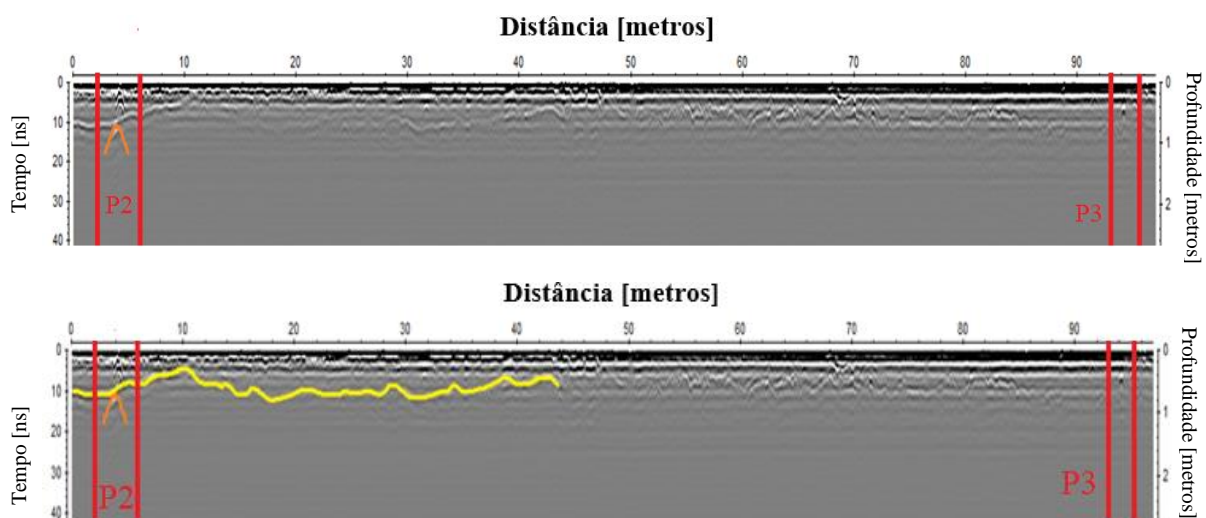


Figura 7 - Radargrama do transecto ao longo da vertente de P2 para P3 com o modelo de profundidade ajustado para a velocidade de $0,145 \text{ m/ns}$ (velocidade medida no radargrama do Planossolo). Na imagem superior, foram demarcados os perfis (em vermelho) e a hipérbole referente à base do horizonte E do Planossolo Háplico (em laranja). Na imagem inferior, foi demarcada a base do horizonte E até seu limite lateral visto no radargrama (em amarelo).



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

A antena de 450 MHz mostrou-se útil na estipulação do limite entre essas duas classes de solo com características físicas distintas. Além disso, a barra de ferro auxiliou na definição de um modelo de profundidade para o radargrama, o que possibilitou identificar, neste caso, diferenças morfológicas no solo, como a profundidade de um horizonte adensado e a extensão lateral dessa camada arenosa, no caso do Planossolo, em todo o radargrama do transecto.

Existe a necessidade de ajustar os modelos de profundidade para os radargramas referentes à cada especificidade de solo, não sendo possível generalizar somente um modelo para grandes regiões utilizando barras de ferro. As tradagens corroboraram o limite entre os tipos de solo identificado pela diferenças de feições exibidas nos radargramas.

5. Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o apoio técnico e logístico do Laboratório de Água e Solo em Agroecossistemas (LASA) do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Os autores agradecem à Embrapa Agrobiologia, à UFRRJ e à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro), que, juntas, mantêm a Fazenda Agroecológica onde o estudo foi realizado. Também, 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

ANNAN, J.P. Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications. Sensors and Software Inc: Ontario, Canada, 2003; 278 p.

ANNAN, A.P. Electromagnetic principles of ground penetrating radar. In **Ground Penetrating Radar: Theory and Applications**, 1st ed.; Jol, H.M., Ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 2009, p. 3-40, ISBN: 978-0-444-53348-7.



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

DE BENEDETTO, D.; CASTRIGNANO, A.; SOLLITTO, D.; MODUGNO, F. Spatial relationship between clay content and geophysical data. **Clay Minerals**, v. 45, p. 197–207, 2010.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

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**, p. 1-18, 2015.

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

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coletas de solos no campo**. 7.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

UCHA, J.M.; BOTELHO, M.; VILAS BOAS, G.S.; RIBEIRO, L.P.; SANTANA, P.S. Uso do Radar Penetrante no Solo (GPR) na investigação dos solos dos tabuleiros costeiros no litoral norte do estado da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 373-380, 2002.