



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

## UTILIZAÇÃO INTEGRADA DO RADAR DE PENETRAÇÃO DO SOLO (GPR) E GAMAESPECTRÔMETRO COMO SUBSÍDIO NA IDENTIFICAÇÃO DA TRANSIÇÃO ENTRE UM PLANOSSOLO HÁPLICO E UM ARGISSOLO VERMELHO

Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento <sup>(a)</sup>, Hugo Machado Rodrigues <sup>(b)</sup>,  
Marcos Bacis Ceddia <sup>(c)</sup>, Gustavo Mattos Vasques <sup>(d)</sup>, Suelen Marques de Oliveira  
Durão <sup>(e)</sup>, João Felipe da Silva Gonçalves <sup>(f)</sup>, Martin de Oliveira Freire <sup>(g)</sup>

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

<sup>(b)</sup> Departamento de Solos, UFRRJ, rodrigues.machado.hugo@gmail.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, susumarques1603@hotmail.com

<sup>(f)</sup> Departamento de Solos, UFRRJ, eyefe1996@gmail.com

<sup>(g)</sup> Departamento de Solos, UFRRJ, martin\_freire@hotmail.com

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

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi integrar dois métodos geofísicos distintos (GPR e gamaespectrômetro) na delimitação entre dois solos contrastantes. O estudo ocorreu em uma vertente na Fazendinha Agroecológica Km 47, em Seropédica-RJ. Assim, foram descritos dois perfis (Planossolo Háplico e Argissolo Vermelho) nas extremidades de um transecto de 70 metros. Em seguida, foram colocadas barras de ferro nas transições dos horizontes para demarcar suas profundidades no radargrama. Utilizou-se o GPR portando uma antena monoestática blindada de 450 MHz e gamaespectrômetro (leitura dos teores de tório equivalente) ao longo do transecto. Como resultado, o final do horizonte E do Planossolo no radargrama do transecto coincidiu com o aumento das radiações de tório equivalente na parte mais alta e argilosa do terreno (zona do Argissolo). Tradagens confirmaram a transição entre os solos indicada nas imagens. Assim, os métodos integrados apresentaram relevante aferição na transição do solo de textura arenosa para argilosa.

**Palavras chave:** Georadar, gamaespectrometria, geofísica de exploração, mapeamento de solos.

### 1. Introdução

O Radar de Penetração do Solo (GPR) e o gamaespectrômetro são sensores proximais classificados como não-invasivos ao ambiente por não requererem coleta de material de solo para análise. O uso de forma integrada desses sensores para caracterização das transições de



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

classes de solos, no entanto, ainda é incipiente no campo da pedologia. Desta forma, este trabalho propõe integrar esses dois sensores, que possuem tecnologias diferentes, para analisar um transecto de aproximadamente 70 metros de comprimento com um Planossolo Háplico (extremidade baixa) alternando para um Argissolo Vermelho (extremidade alta), a fim de identificar a região limítrofe entre esses dois solos.

## 2. Materiais e Métodos

Este estudo 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).

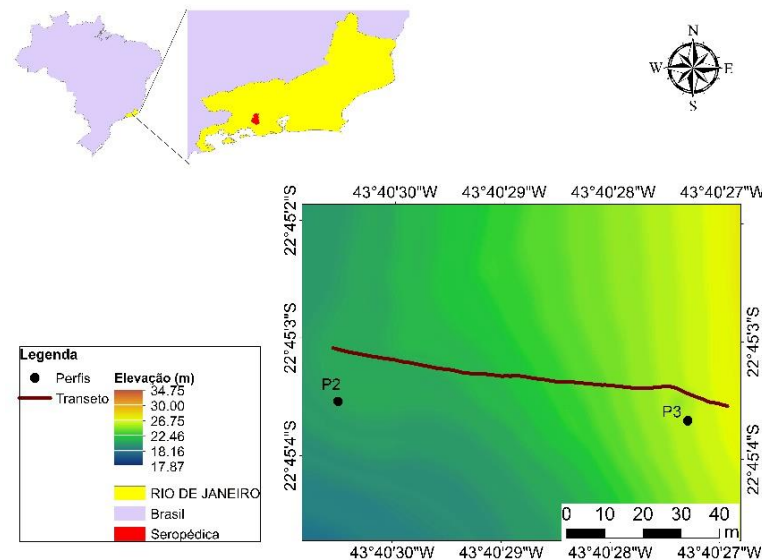


Figura 1 - Mapa de localização dos perfis de solo na área de estudo, mostrando o modelo digital de elevação do terreno no fundo.

Os perfis foram descritos e coletados seguindo as normas do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015). A caracterização da granulometria em laboratório foi realizada de acordo com as recomendações expressas em Donagemma et al.



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

(2011). A classificação foi feita segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et 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. Depois, navegou-se sobre os dois perfis com o GPR MALÅ GroundExplorer, (Guideline Geo AB, Sundbyberg, Suécia), com odômetro, equipado com uma antena monoestática blindada de 450 MHz. Posteriormente, realizou-se o caminhamento no transecto de P2 para P3. Ao final do procedimento de campo, obtiveram-se dois radargramas (imagem gerada pelo GPR) dos perfis individuais e um radargrama representando o transecto.

Foi identificada a posição do perfil com GPS para, posteriormente, identificá-lo no radargrama e interpretá-lo. Também, foi registrada a profundidade de cada barra de ferro, bem como as distâncias de cada barra em relação aos limites laterais do perfil. Os radargramas foram processados no software ReflexW, desenvolvido por Sandmeier (2009) (Sandmeier Software, Karlsruhe, Alemanha) e seguiu apenas dois procedimentos realizados em sequência: *Static correction* e *Dewow*.

Ao visualizar as feições geradas pelas barras de ferro nos radargramas, ajustaram-se hipérboles que correspondem às velocidades de propagação do pulso eletromagnético emitido no solo pelo GPR. Em seguida, um modelo de profundidade foi ajustado a partir das velocidades medidas nos radargramas respectivos de cada solo (SANDMEIER, 2009).

Ainda em campo, utilizou-se o gamaespectrômetro modelo Gamma-Ray Sensor MS 2000 (MEDUSA RADIOMETRICS, Holanda) também no caminhamento do transecto de P2 para P3, a uma altura aproximada de 10 cm do solo. Esse sensor mensura três elementos radioativos naturalmente presentes no solo: tório equivalente, urânio equivalente e potássio. Neste trabalho preferiu-se utilizar somente os dados referentes ao tório equivalente por causa da sua alta afinidade com as argilas, o que resulta em um comportamento geoquímico de baixa



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

mobilidade no solo. Os resultados desse elemento foram interpolados pelo método de krigagem ordinária utilizando o software R e, em seguida, plotados e mapeados no ArcGis.

Para validação dos limites entre os solos apresentados tanto pelo radargrama, quanto pelo mapa das concentrações de tório equivalente, foram amostrados com trado holandês alguns pontos de localização sugeridos pelos resultados de ambos os métodos.

### 3. Resultados e discussões

As profundidades e as análises granulométricas dos horizontes do Planossolo Háplico (P2) e do Argissolo Vermelho (P3) são apresentadas na Tabela 1.

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 <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )
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 <sup>+</sup>	513	367	Bt3	86-108	212	657
-	-	-	-	Bt4	108-147 <sup>+</sup>	112	779

O Planossolo Háplico tem os primeiros três horizontes com matriz tipicamente arenosa, com os teores de argila menores que 100 g kg<sup>-1</sup>. O aspecto mais relevante neste solo é a mudança textural abrupta que ocorre na transição do horizonte E para o Bt1. Nesta transição acontece um aumento de 4,2 vezes nos teores de argila em Bt1. Por outro lado, o Argissolo Vermelho apresenta valores relativamente altos dos teores de argila desde a superfície, aumentando ainda mais em profundidade. As disposições das barras de ferro no P2 e P3 são apresentadas na Figura 2.





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

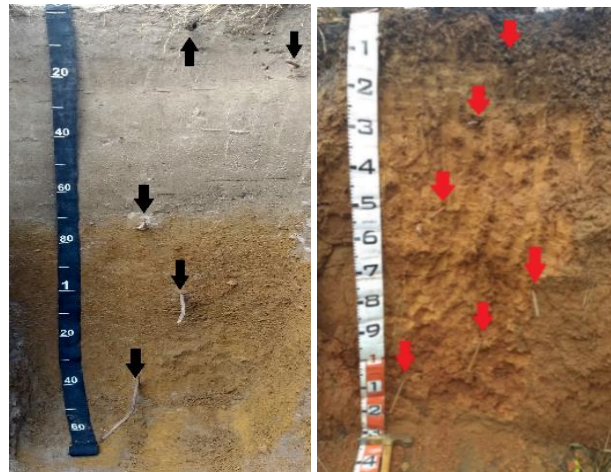


Figura 2 - Disposição das barras de ferro no P2 (à esquerda) e do P3 (à direita). As setas indicam onde as barras foram inseridas na parede do perfil. Em ambos os casos o sentido do caminhamento com o GPR foi da esquerda para direita.

No radargrama do Planossolo as três primeiras transições (sob forma de hipérbolos) foram demarcadas (Figura 3). A maior profundidade da barra de ferro vista neste radargrama foi de 69 cm, que marca a transição do horizonte E para o Bt1 onde aparece uma feição que pode ser caracterizada como a base do horizonte E (demarcada em amarelo). Depois, ao analisar a velocidade do pulso eletromagnético no radargrama deste solo no ReflexW, foi possível gerar um modelo de profundidade a partir da velocidade do pulso de 0,145 m/ns. Esse modelo possibilitou o ajuste das profundidades das três barras no radargrama com as profundidades reais de campo.

No Argissolo Vermelho também houve a demarcação das hipérbolos das primeiras três transições, embora sejam menos expressivas e mais rasas (profundidade máxima de 48 cm) (Figura 4), devido aos maiores teores de argila neste solo que dissipam o sinal (DOOLITTLE; COLLINS, 1995), o que pode explicar a ausência de feições que poderiam marcar no aumento de 236 g kg<sup>-1</sup> de argila de Bt2 para Bt3 (Tabela 1). Também, não foi possível visualizar qualquer feição na profundidade referente à transição do horizonte E deste solo, possivelmente devido aos baixos contrastes de materiais em relação aos horizontes sub e sobrejacente (diferente do que é visto na transição do horizonte E para o Bt1 do Planossolo) (De BENEDETTO et al.,



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

2010). No Argissolo Vermelho a velocidade medida foi de 0,175 m/ns, o que também ajustou as três profundidades vistas no radargrama com as de campo (Figura 4).

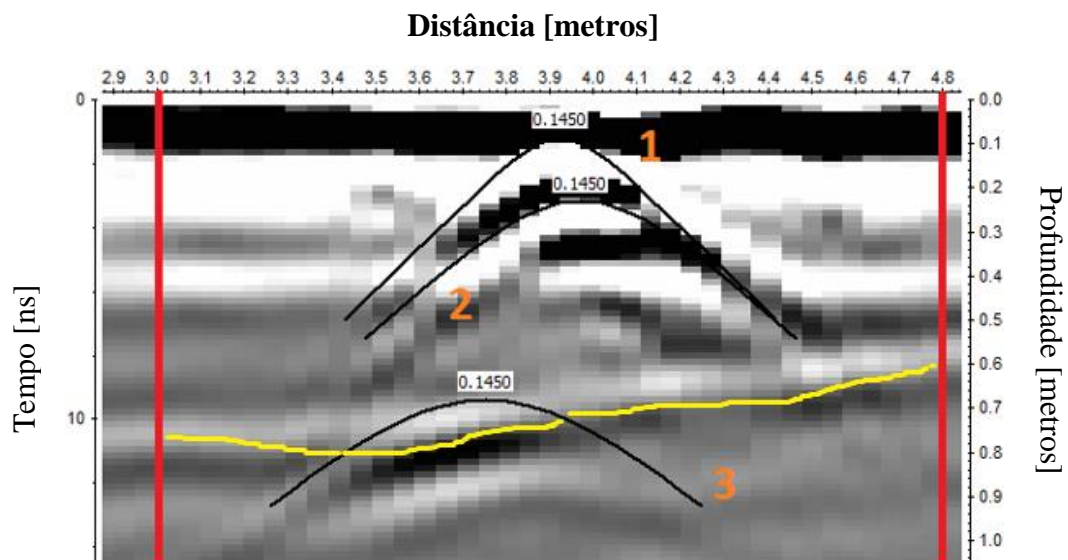


Figura 3 - Radargrama do perfil P2 mostrando a velocidade de pulso estimada a partir das hipérbolas ajustadas (em preto), as linhas vermelhas indicam os limites laterais da parede do perfil e a linha amarela mostra a transição do horizonte do horizonte E para Bt1. Os números em laranja indicam as transições dos horizontes, de cima para baixo (conforme a Tabela 1).

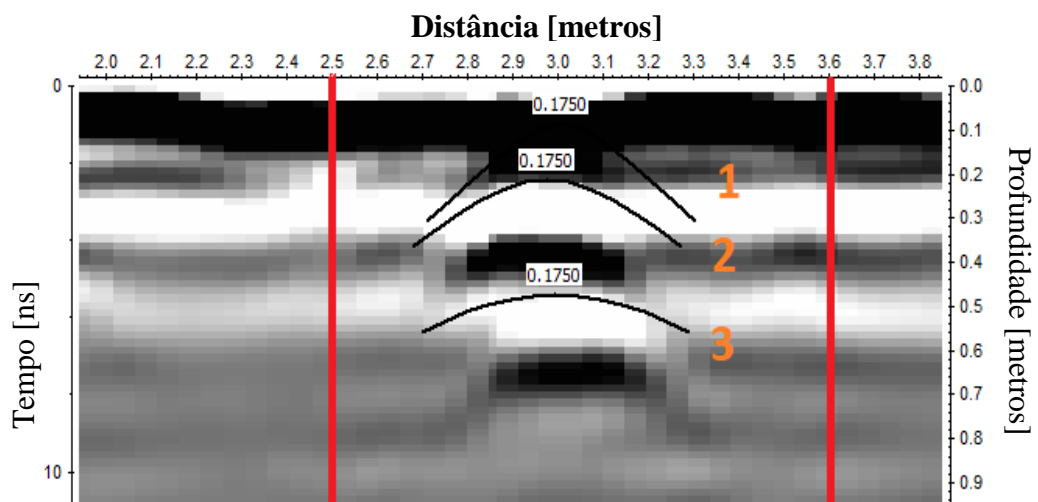


Figura 4 - Radargrama do perfil P3 mostrando a velocidade de pulso estimada a partir das hipérbolas ajustadas (em preto), enquanto que as linhas vermelhas indicam os limites laterais da parede do perfil. Os números em laranja indicam as transições dos horizontes, de cima para baixo (conforme a Tabela 1).



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

A feição em amarelo apresentada na Figura 3 foi confirmada como sendo a transição do horizonte E para o Bt1 a partir da posição da barra de ferro de 69 cm, de acordo com o modelo de profundidade calibrado. Assim, esta feição serve como uma camada guia da base do horizonte E que se estende pelo radargrama individual do Planossolo, servindo como indicador desta classe de solo no radargrama do transecto.

Como a transição do horizonte E para o Bt1 do Planossolo é a característica mais distintiva dentre os dois solos, considerando os radargramas individuais, preferiu-se investigar o limite entre ambas as classes com o GPR utilizando o comportamento teórico do horizonte E visível no radargrama do transecto. Assim, a velocidade escolhida para gerar um modelo de profundidade para todo o transecto foi a de 0,145 m/ns.

Contudo, como houve diferenças nos ajustes das velocidades entre o Argissolo (0,175 m/ns) e o Planossolo (0,145 m/ns), as profundidades do radargrama do transecto fazem sentido apenas enquanto for evidente a base do horizonte E do Planossolo no radargrama. Para o restante do radargrama (que seria, teoricamente, a área onde representa o Argissolo Vermelho), as profundidades representadas seriam diferentes das que são vistas em campo.

Em relação aos dados de tório equivalente obtidos com o gamaespectrômetro, o semivariograma das concentrações é mostrado na Figura 5. Seu alcance máximo no transecto estudado é de 70 m.

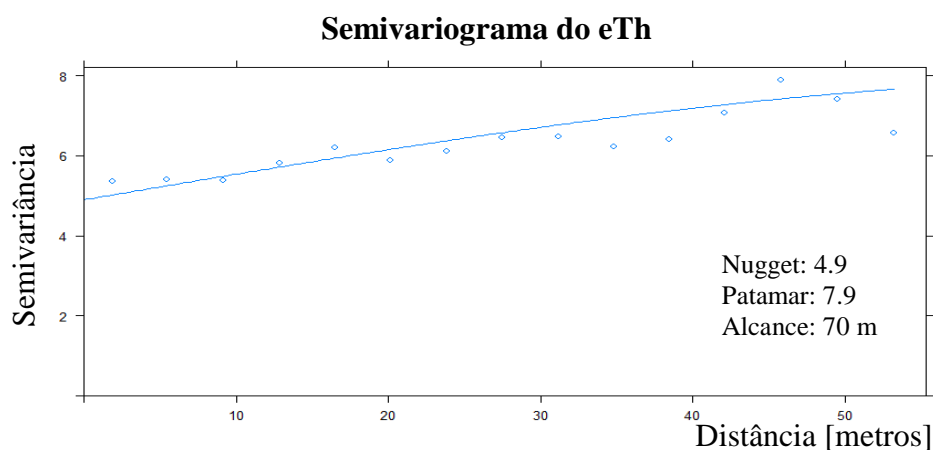


Figura 5 - Semivariograma teórico ajustado do eTh.



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

O mapa krigado de tório equivalente plotado em ArcGis é apresentado na Figura 6. É possível observar que as maiores concentrações estão nas regiões mais elevadas do transecto, enquanto que as menores foram detectadas na parte baixa. Na área mais alta está o campo do Argissolo Vermelho, com horizontes mais argilosos desde a superfície do solo (Tabela 1), o que acarreta no maior acúmulo do tório equivalente devido à forte adsorção por parte da fração argila (DICKSON; SCOTT, 1997).

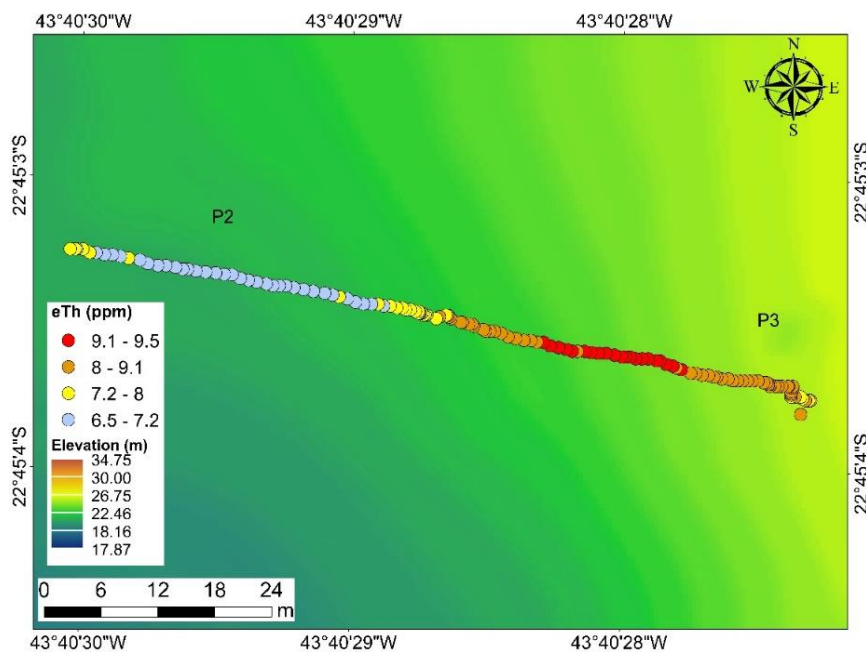


Figura 6 - Mapa de concentração de tório equivalente ao longo do transecto, com o modelo digital de elevação do terreno no fundo.

A fim de comparar os resultados das duas técnicas geofísicas, as imagens foram ajustadas e alinhadas para melhor visualização dos resultados. Ressalta-se que os caminhamentos do GPR e do gamaespectômetro têm o mesmo comprimento total, bem como foram realizados sobre o mesmo transecto. No caso do radargrama do transecto com o modelo de profundidade ajustado com o valor de 0,145 m/ns, estendeu-se a camada guia da base do horizonte E lateralmente (demarcada em amarelo) até a distância em que não houve mais





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

correlação visual. Na mesma posição de dissipação da camada guia é possível ver no mapa de tório equivalente uma transição entre os valores mais baixos para os mais altos (Figura 7).

Ao comparar o limite da feição referente à base do horizonte E no radargrama com a distribuição do elemento tório, nota-se que há uma concordância dos dados, mostrando que o horizonte E do Planossolo termina na localização onde ocorre o aumento dos valores tório equivalente. Ao tradar pontos próximos à localidade de transição de solos sugeridas pelos sensores, observou-se que a base do horizonte E termina na localidade de ocorrência dos altos teores de argila (medida pelo método expedito), marcando a passagem da zona de ocorrência do Planossolo para a do Argissolo.



XVIII  
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

**GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS**

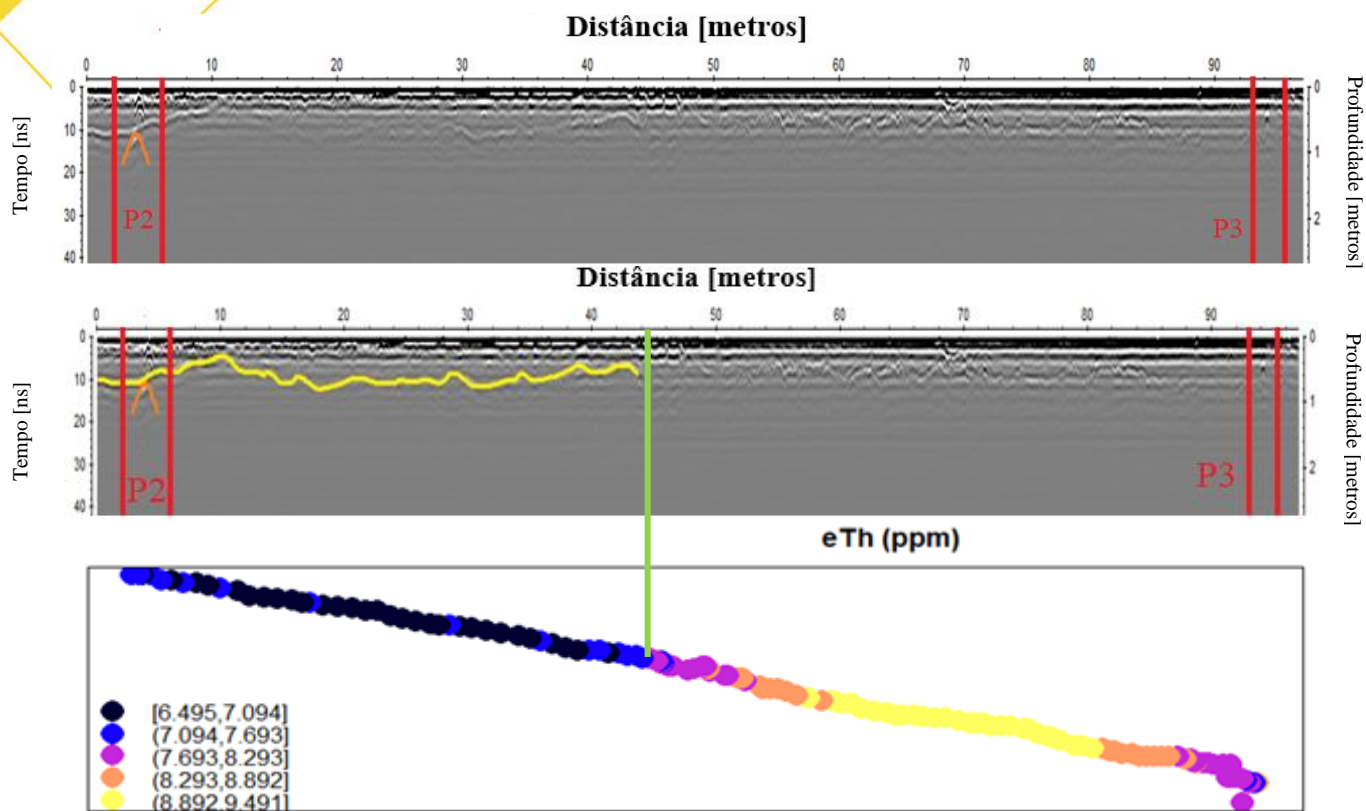


Figura 7 - Comparação do radargrama com o mapa de tório ao longo do mesmo transecto. Na primeira imagem foram delimitados os dois perfis (em vermelho) e a hipérbole referente à base do horizonte E (em laranja) do Planossolo. Na segunda imagem foi demarcada a base do horizonte E até seu limite visto no radargrama (em amarelo). Na terceira imagem está o resultado da krigagem da concentração de tório equivalente ao longo do transecto. A linha verde marca a distância (cerca de 44 metros da esquerda para direita) do final do horizonte E (na segunda imagem) que coincide com o início dos valores mais elevados das concentrações de tório equivalente (na terceira imagem).



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 análise integrada do GPR portando uma antena monoestática de 450 MHz (associada às barras de ferro) com o gamaespectômetro mostrou-se útil na estipulação do limite entre essas duas classes de solo com características físicas distintas.

A utilização de trado holandês corroborou os limites dos tipos de solos sugeridos pelos dois sensores, mostrando potencial para utilização integrada de técnicas geofísicas distintas no estudo de mapeamento de solos.

#### 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

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

DICKSON, B.L.; SCOTT, K.M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

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. 230p.



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

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

DOWDALL, M.; O'DEA, J.  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  disequilibrium in an upland organic soil exhibiting elevated natural radioactivity. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 59, p. 91-104, 2002.

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.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018.

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. de. **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.