

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Barras de Ferro como Subsídio ao Uso do Radar de
Penetração no Solo (GPR) com Antenas Monoestáticas
para Imageamento de Solos**

Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**BARRAS DE FERRO COMO SUBSÍDIO AO USO DO RADAR DE
PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR) COM ANTENAS MONOESTÁTICAS
PARA IMAGEAMENTO DE SOLOS**

CARLOS WAGNER RODRIGUES DO NASCIMENTO

Sob a Orientação do Professor

Marcos Baccis Ceddia

e Coorientação do Pesquisador

Gustavo Mattos Vasques

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2019

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N244b Nascimento, Carlos Wagner Rodrigues do, 1991-
Barras de ferro como subsídio ao uso do Radar de Penetração no Solo (GPR) com antenas monoestáticas para imageamento de solos / Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento. - 2019.
89 f.: il.

Orientador: Marcos Bacis Ceddia.
Coorientador: Gustavo Mattos Vasques.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, 2019.

1. Sensoriamento proximal do solo. 2. Geofísica de exploração. 3. Constante dielétrica. 4. Horizontes do solo. I. Ceddia, Marcos Bacis, 1968-, orient. II. Vasques, Gustavo Mattos, 1979-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

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

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO

CARLOS WAGNER RODRIGUES DO NASCIMENTO

Dissertação/Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 14/02/2019

Gustavo Mattos Vasques. Dr. EMBRAPA - Solos
(Coorientador)

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

Wenceslau Geraldes Teixeira. Dr. Embrapa Solos

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente a Deus por toda luz, graça, misericórdia e disposição em minha vida e por ter me ajudado na realização deste trabalho. Graças Te dou por todas as coisas e por todas as situações vividas e vencidas.

Agradeços aos orientador Marcos e ao coorientador Gustavo por terem me dado a possibilidade de realizar este trabalho.

Muito obrigado a minha mãe, Da. Deléia, ao meu pai, Carlos Roberto, a minha madrasta, Jorgeane, as minhas irmãs, Maria Emília, Mariana e Geovana, aos meus sobrinhos, Maria Clara e Carlos Eduardo, a minha tia, Elizabeth, e a todos os demais familiares que me deram apoio em todas as horas difíceis.

Meus eternos agradecimentos aos amigos Hugo Machado, Suelen, Bruno, Fernanda, Juliana, Raquel, Fabiana Loureiro, João Felipe, Carolina Almada, Gabriela, Hugo Figueira, Wadson, Jorge, dentre várias outras pessoas que me ajudaram de forma árdua e com toda disposição durante todo o mestrado. Esse trabalho não teria sido possível com a ajuda e boa vontade de todos vocês.

Agradeço também à professora Clarice por toda a ajuda e oportunidade que me foram dadas desde a graduação (em 2013), o que contribuiu de forma riquíssima para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço aos meus amigos, Marília, Tatiana, Kurt, Maristela, Simone, Bruna, Angélica, Maria Lídia, Nayara, Alex, Samara, e muitíssimos outros mais, mesmo que alguns estivessem distantes fisicamente, por todo apoio dado durante este trabalho.

E agradecido sou pelo técnico do laboratório, Martin Freire, e por todos os técnicos de laboratório, faxineiros, secretários, dentre outros da UFRRJ, e aos pesquisadores da Embrapa, que contribuíram de forma direta ou indireta no desenvolvimento desta dissertação.

RESUMO

NASCIMENTO, Carlos Wagner Rodrigues do. **Barras de ferro como subsídio ao uso do Radar de Penetração no Solo (GPR) com antenas monoestáticas para imageamento de solos.** 2019. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

O Radar de Penetração no Solo (GPR) é uma ferramenta geofísica para o estudo de solos. A interpretação dos seus resultados depende da correlação entre os dados geofísicos com os dados coletados em campo. Para o estudo da espessura de horizontes ou camadas de solos, ou mesmo da espessura do solo como um todo, é necessário um método que consiga medir a velocidade do pulso eletromagnético no solo para modelar a profundidade do radargrama. Mas, apesar de haver métodos que possibilitam modelar a profundidade, como o Common Midpoint (CMP), que é um método que apresenta melhor resultado entre os demais, não há garantia absoluta da profundidade investigada do alvo devido a diversos fatores, como a presença de ruídos. Além disso, a técnica do CMP é restrita para modelos de GPR com antenas biestáticas. Desta forma, este trabalho investiga em quais tipos de solos, com diferentes atributos físicos, químicos e morfológicos, o uso de barras de ferro pode auxiliar na identificação da profundidade de horizontes utilizando o GPR. O estudo foi realizado na Fazendinha Agroecológica km 47 (Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA) que faz parte da Embrapa Agrobiologia, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio) e da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Para a realização do trabalho, inseriram-se barras de ferro nas transições dos horizontes em dez perfis de solo expostos em trincheiras (sendo cinco Planossolos Háplicos, três Argissolos Vermelhos, um Argissolo Amarelo e um Cambissolo Háplico) e obtiveram-se imagens com um GPR com duas antenas monoestáticas blindadas (com frequências de 450 e 750 MHz, respectivamente), com posterior processamento dos radargramas. A antena de 450 MHz produziu radargramas mais nítidos em comparação àqueles obtidos com a antena de 750 MHz, sendo que as hipérbolas geradas pelas barras de ferro no radargrama foram mais visíveis nos solos de textura arenosa, especialmente nas transições texturais marcantes entre horizontes arenosos e argilosos. Adicionalmente, as barras de ferro puderam ser identificadas em horizontes com maiores quantidades de argila sob condições específicas. A velocidade do pulso eletromagnético teve valores mais constantes ao longo da seção vertical dos radargramas gerados pela antena de 450 MHz quando calculada em horizontes arenosos em comparação aos horizontes de textura mais argilosa. Conclui-se que as barras de ferro são eficientes para a distinção imediata das transições de horizontes com diferença nítida entre os atributos físicos, notadamente nos teores de argila e areia.

Palavras-chave: Sensoriamento proximal do solo. Geofísica de exploração. Constante dielétrica. Horizontes do solo.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Carlos Wagner Rodrigues do. **Iron bars in support of the use of Ground Penetrating Radar (GPR) with monostatic antennas for soil imaging.** 2019. 89p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

The Ground Penetrating Radar (GPR) is a geophysical tool for the study of soils. The interpretation of its results depends on the correlation between the geophysical data and the data collected in the field. In the study of the thickness of horizons or layers of soils, or even the thickness of the soil as a whole, a methodology that can estimate the velocity of the electromagnetic pulse in the soil is necessary for modeling the soil depths in the radargram. However, although there are methods that allow depth modeling, such as the Common Midpoint (CMP), which is a method that presents better result among other methods, there is no absolute guarantee of identifying the correct depth of the target due to several factors, such as the presence of noise. In addition, the CMP technique is restricted to GPR models with bi-static antennas. Thus, this work aimed to investigate in which soil types, with distinct physical, chemical and morphological attributes, the use of iron bars can help in identifying the depths of soil horizons using GPR. This study was developed at Fazendinha Agroecológica km 47 (Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA) that is part of Embrapa Agrobiologia, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio) and Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. For this, iron bars were inserted in the transitions of the horizons in ten soil profiles (five Planossolos Háplicos, three Argissolos Vermelhos, one Argissolo Amarelo and one Cambissolo Háplico) exposed in trenches, which were surveyed using a GPR with two monostatic shielded antennas (with frequencies of 450 and 750 MHz, respectively), with further processing of the radargrams. The 450 MHz antenna produced sharper radargrams than those from the 750 MHz antenna, and the hyperboles generated by the iron bars in the radargram were more visible in sandy soils, especially in the strong textural transitions between sandy to clayey horizons. In addition, iron bars could be identified in clayey horizons under specific conditions. The estimated electromagnetic pulse velocity had more constant values along the vertical section of the radargrams generated by the 450 MHz antenna in sandy horizons than in clayey ones. In conclusion, the iron bars are efficient for the immediate distinction of the transitions between horizons with a clear difference in physical properties, notably in the clay and sand contents.

Keywords: Proximal soil sensing. Exploration geophysics. Dielectric constant. Soil horizons.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Princípio de funcionamento do GPR em campo.....	3
Figura 2. Possibilidades de sinais que a antena do GPR pode captar. O sinal em AA' é maximizado, obtendo-se maior resolução do alvo. Em B minimiza a energia direta do transmissor para o receptor. CC' representa a minimização da energia que escapa para o ar. E em DD' mostra a diminuição da influência de outras fontes de sinais na antena do GPR.....	6
Figura 3. Esquema para processamento do radargrama	7
Figura 4. Localização da cidade de Seropédica-RJ.....	11
Figura 5. Mapa de localização da área de estudo.	12
Figura 6. Mapa de localização dos perfis de solo na área de estudo, mostrando o modelo digital de elevação do terreno no fundo. A classificação dos perfis de solo está apresentada na Tabela 3.....	13
Figura 7. Disposição das barras de ferro ao longo dos perfis: a) CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico (P1); b) PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico (P7); c) ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (P9). As setas vermelhas apontam a posição em que as barras foram inseridas.....	14
Figura 8. Disposição das barras de ferro no P2.....	16
Figura 9. Radargramas do P2 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérbolas geradas pelas barras de ferro em laranja e da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo.	17
Figura 10. Determinação da velocidade do pulso no solo em P2 com a antena de 450 MHz e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.	17
Figura 11. Radargramas do P2 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérbolas geradas pelas barras de ferro em laranja e da possível camada guia associada à base do horizonte E em amarelo.....	18
Figura 12. Determinação da velocidade do pulso no solo em P2 com a antena de 750 MHz e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.	19
Figura 13. Disposição das barras de ferro no P4.....	20
Figura 14. Radargramas do P4 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e demarcação da possível camada guia em amarelo.	21
Figura 15. Determinação da velocidade do pulso no solo em P4 com a antena de 450 MHz e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.	22
Figura 16. Radargramas do P4 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e demarcação da possível camada guia em amarelo.	23
Figura 17. Determinação da velocidade do pulso no solo em P4 com a antena de 750 MHz.	23

Figura 18. Disposição das barras de ferro no P5.	24
Figura 19. Radargramas do P5 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja.	25
Figura 20. Determinação da velocidade do pulso no solo em P5 com a antena de 450 MHz. Em (a) a velocidade foi ajustada para as primeiras três transições. Em (b) foi feito o ajuste para a quarta transição.	26
Figura 21. Radargramas do P5 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja	27
Figura 22. Determinação da velocidade do pulso no solo em P5 com a antena de 750 MHz. Em (a) a velocidade foi ajustada para as primeiras duas transições. Em (b) foi feito o ajuste para a terceira transição.	28
Figura 23. Disposição das barras de ferro no P6.	29
Figura 24. Radargramas do P6 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo. ...	30
Figura 25. Determinação da velocidade do pulso no solo em P6 com a antena de 450 MHz.	31
Figura 26. Radargramas do P6 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja.	32
Figura 27. Determinação da velocidade do pulso no solo em P6 com a antena de 750 MHz.	32
Figura 28. Disposição das barras de ferro no P7.	34
Figura 29. Radargramas do P7 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo. ...	35
Figura 30. Determinação da velocidade do pulso no solo em P7 com a antena de 450 MHz. Em (a) a velocidade foi ajustada para as primeiras três transições. Em (b) foi feito o ajuste para a quarta transição e demarcação da camada guia em amarelo.	36
Figura 31. Radargramas do P7 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e demarcação da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo	37
Figura 32. Determinação da velocidade do pulso no solo em P7 com a antena de 750 MHz. Em (a) foi feita a determinação para as hipérboles 2, 3 e 4. Em (b) para a hipérbole 5. Em (c) para a hipérbole 6 e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.	39
Figura 33. Radargrama do transecto que abrange os perfis P2, P5 e P6 delimitados nas caixas vermelhas.	40
Figura 34. Aproximação em detalhe dos perfis do transecto. A barra em azul demarca em cada radargrama a hipérbole da barra de ferro mais profunda em cada perfil, enquanto que a barra verde representa a profundidade real vista em campo. Em (a) e (c) as barras verdes coincidem ou são próximas da profundidade real da base do horizonte E	

(P2 e P6). Em (b) a barra amarela representa a profundidade da base do horizonte E transicionando para BE (P5).....	40
Figura 35. Disposição das barras de ferro no P3.....	42
Figura 36. Radargramas do P3 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro.....	43
Figura 37. Determinação da velocidade do pulso no solo em P3 com a antena de 450 MHz.	43
Figura 38. Radargramas do P3 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro.....	44
Figura 39. Determinação da velocidade do pulso no solo em P3 com a antena de 750 MHz.	45
Figura 40. Disposição das barras de ferro no P8.....	46
Figura 41. Radargramas do P8 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pela barra de ferro.....	47
Figura 42. Determinação das velocidades do pulso no solo em P8 com a antena de 450 MHz....	48
Figura 43. Radargramas do P8 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Imagem com os limites da região do perfil no radargrama; b) demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro.....	49
Figura 44. Determinação da velocidade do pulso no solo em P8 com a antena de 750 MHz.	49
Figura 45. Disposição das barras de ferro no P9.....	50
Figura 46. Radargramas do P9 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pela barra de ferro.....	51
Figura 47. Determinação da velocidade do pulso no solo em P9 com a antena de 450 MHz.	52
Figura 48. Radargramas do P9 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro.....	53
Figura 49. Determinação da velocidade do solo em P9 com a antena de 750 MHz.	53
Figura 50. Disposição das barras de ferro no P10.....	54
Figura 51. Radargramas do P10 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro.....	55
Figura 52. Determinação da velocidade do pulso no solo em P10 com a antena de 450 MHz.	56
Figura 53. Radargramas do P10 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro.....	57
Figura 54. Determinação das velocidades do pulso no solo em P10 com a antena de 750 MHz. Em (a) foi feita a determinação para a hipérbole 1. Em (b) para a hipérbole 2. Em (c) para a hipérbole 3.....	58
Figura 55. Disposição das barras de ferro no P1.....	60

- Figura 56.** Radargramas do P1 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro e do reflector em verde. 61
- Figura 57.** Determinação da velocidade do pulso no solo em P1 com a antena de 450 MHz. 61
- Figura 58.** Radargramas do P1 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro e do reflector em verde. 62
- Figura 59.** Determinação da velocidade do solo em P1 com a antena de 750 MHz. Em (a) foi feita a determinação para a hipérbole 1. Em (b) para a hipérbole 2. Em (c) para a hipérbole 3 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físicas de alguns materiais constituinte do solo e de rochas.	4
Tabela 2. Relação entre algumas frequências de antena de GPR e profundidade máxima de penetração do sinal no solo.	5
Tabela 3. Classificação dos perfis de solo da na área de estudo.	15
Tabela 4. Caracterização morfológica, física e química do perfil P2.	15
Tabela 5. Caracterização morfológica, física e química do perfil P4.	19
Tabela 6. Caracterização morfológica, física e química do perfil P5.	24
Tabela 7. Caracterização morfológica, física e química do perfil P6.	29
Tabela 8. Caracterização morfológica, física e química do perfil P7.	33
Tabela 9. Caracterização morfológica, física e química do perfil P3.	41
Tabela 10. Caracterização morfológica, física e química do perfil P8.	45
Tabela 11. Caracterização morfológica, física e química do perfil P9.	50
Tabela 12. Caracterização morfológica, física e química do perfil P10.	54
Tabela 13. Caracterização morfológica, física e química do perfil P1.	59
Tabela 14. Resultados das análises feitas com a antena de 450 MHz.	64
Tabela 15. Resultados das análises feitas com a antena de 750 MHz.	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Princípios Básicos do GPR.....	3
2.2. GPR Aplicado à Pedologia	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Área de Estudo	11
3.2. Procedimentos Realizados.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1. Análise dos Radargramas dos Planossolos.....	15
4.2. Análise dos Radargramas dos Argissolos.....	41
4.3. Análise do Radargrama do Cambissolo.....	59
5. CONCLUSÕES	65
6. RECOMENDAÇÕES	66
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
8. ANEXOS	72

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa tradicional de solo envolve trabalho de campo que é geralmente caro e consome tempo. A fim de reduzir custos e tempo de trabalho, a pesquisa sobre o desenvolvimento e a aplicação de sensores proximais tem aumentado para descrever qualitativa e quantitativamente os tipos de solo e seus atributos (Adamchuk et al., 2004).

Uma opção para o estudo de algumas características do solo (como densidade, porosidade e camadas adensadas ao longo do perfil) é o Radar de Penetração no Solo – *Ground Penetrating Radar* (GPR) –, que é um equipamento geofísico elétrico não invasivo ao meio natural, sendo utilizado em estudos de investigação de regiões rasas do terreno com o uso de antenas de frequências que variam de 10 MHz a 1 GHz (Annan, 2009). Esta ferramenta pode ser empregada em diversas áreas do conhecimento, tais como nos estudos geológicos (Davis & Annan, 1989), identificação e exploração de artefatos arqueológicos (Quarto et al., 2007), dentre outras.

Os dados coletados pelo GPR são apresentados em uma imagem denominada radargrama. A nitidez dos dados no radargrama depende das propriedades físicas dos constituintes do solo, dentre elas a constante dielétrica (K). Os valores desta propriedade variam largamente para os constituintes do solo, assim como também têm a influência da umidade do solo. Por exemplo, para a areia seca, os valores de K permanecem entre 2 e 6, enquanto que para a areia saturada, os valores variam entre 10 e 30, mostrando, assim, o efeito da água na variação do valor K nos constituintes do solo (Daniels, 2004).

Um grande entrave na interpretação dos dados obtidos pelo GPR, assim como por outros métodos geofísicos, está relacionado à associação entre os dados coletados pelo dispositivo com o que é visto em campo, ou verdade de campo. Em Pedologia, uma opção é a abertura de trincheiras para a caracterização morfológica, física e química do solo. Desta forma, as informações obtidas com o radargrama podem ser analisadas em associação com os dados de campo.

Outro problema para a utilização do GPR é a determinação da profundidade dos alvos de estudo no solo no radargrama. Para obter uma profundidade, antes é necessário ter um modelo de velocidade para o terreno explorado. Nesse caso, um método de aquisição do modelo de velocidade é o Common Midpoint (CMP) utilizando um GPR que possua uma antena biestática, ou seja, antena em que a parte transmissora do dispositivo é fisicamente separada da parte receptora. Dessa forma, é possível criar um modelo de velocidade que é traduzido em um modelo de profundidade para o radargrama de uma área específica (Annan, 2003).

Contudo, no caso dos modelos de GPR com antena monoestática (quando as partes transmissora e receptora estão juntas, formando apenas um dispositivo), o CMP não é possível de ser executado. Uma alternativa é a geração de um modelo de profundidade medindo-se as velocidades dos pulsos eletromagnéticos (emitidos pelo GPR) no solo em “pontos de espalhamento” (hipérboles) no radargrama. Para isso, utiliza-se um software específico para processamento dos radargramas a fim de realizar essa medição (Jacob & Urban, 2015). Porém, nem sempre o radargrama apresenta esses pontos de espalhamento para serem medidos ou não possui em quantidade suficiente que possibilite a geração de um modelo de profundidade acurado.

Sendo assim, uma possibilidade é gerar artificialmente estes pontos de espalhamentos inserindo-se objetos em profundidades conhecidas, onde serão medidas as velocidades com o uso de hiperboles no radargrama. A limitação, neste caso, é que a inserção de materiais no solo pode mudar, mesmo que localmente, algumas características do solo, como densidade do

solo e a porosidade, além de que a velocidade medida no ponto de espalhamento é restrita a uma curta seção lateral do radargrama (Jacob & Urban, 2015; Annan, 2003).

Apesar do potencial da inserção de barras de ferro para a geração de hipérboles e determinação da velocidade do pulso no radargrama, sua viabilidade precisa ser avaliada em solos com diferentes características. Assim, este trabalho teve como objetivos:

- i) avaliar as barras de ferro como indicadoras das profundidades de transição dos horizontes nos radargramas;
- ii) investigar para quais classes de solo é recomendada a inserção de barras de ferro para estudos usando GPR;
- iii) analisar o padrão da velocidade do pulso eletromagnético ao longo do perfil nos diferentes solos; e
- iv) avaliar a viabilidade de uso das antenas de 450 e 750 MHz no estudo de solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Princípios Básicos do GPR

O GPR é um equipamento geofísico elétrico não invasivo, sendo utilizado para a investigação de regiões rasas do solo utilizando antenas de frequências que variam entre 10 MHz e 1 GHz (Annan, 2009). Não só na área de Pedologia, esta ferramenta pode ser empregada em diversas áreas do conhecimento tais como Geologia (Davis & Annan, 1989), Arqueologia (Quarto et al, 2007), dentre outras.

O princípio físico básico do GPR dá-se pela emissão de pulsos eletromagnéticos para o meio, neste caso o solo, por uma antena emissora, e recepção do sinal de retorno por uma antena receptora (Figura 1). A resposta que é obtida pelo GPR depende das propriedades físicas dos constituintes do solo, dentre elas a constante dielétrica (K). Os valores desta propriedade variam largamente para os constituintes do solo, possuindo valores distintos para os diferentes componentes da fase mineral (hematita, caulinita, quartzo, etc), para a matéria orgânica, ar e água, esta livre ou combinada com outros constituintes.

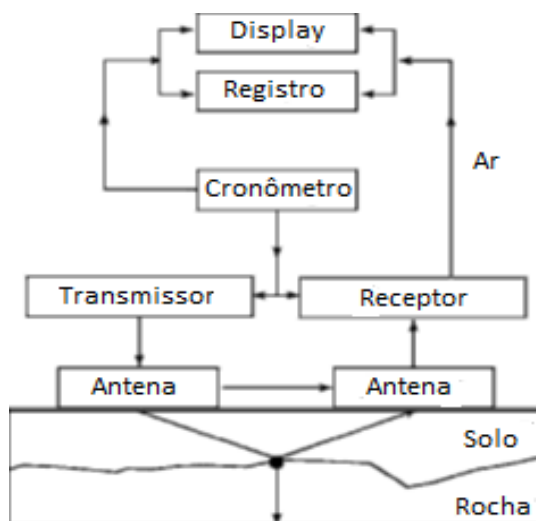


Figura 1. Princípio de funcionamento do GPR em campo. **Fonte:** modificado de Annan (2009).

Por exemplo, a areia seca possui valores de K entre 2 e 6, enquanto, quando saturada, seus valores de K variam entre 10 e 30, mostrando a influência da água na variação dos valores dessa propriedade no solo (Daniels, 2004). Quando a areia está seca, o material torna-se mais resistivo, havendo menor atenuação e maior velocidade do sinal emitido pelo GPR, permitindo gerar um radargrama com mais riquezas de detalhes quando comparado à areia saturada em água.

A relação entre a velocidade de propagação da onda direta no solo e a constante dielétrica é dada pela equação a seguir (Paixão et al. 2006). Ou seja, a determinação da velocidade de propagação é possível a partir do valor de K.

$$V = \frac{c}{\sqrt{K}} \quad (1)$$

onde: V = velocidade do pulso (m/ns); c = velocidade da luz (0,3 m/ns); K = parte real da permissividade dielétrica ou constante dielétrica.

Dentre os principais constituintes do solo, alguns valores de K de referência são os da argila, da areia, da água e do ar (Tabela 1). A interação dos pulsos emitidos pelo GPR com os valores de K presentes no solo gera uma imagem em um computador que é denominada radargrama (Annan, 2009).

Quando a onda que se propaga pelo solo encontra uma mudança marcante nas propriedades elétricas do meio, o pulso retorna para a superfície. Como via de regra, quanto mais abrupto for o contraste das propriedades elétricas entre os materiais (constante K), maior é a nitidez do sinal observado no radargrama. Quando nenhum sinal retorna à antena receptora, a resposta pode ser explicada devido à homogeneidade do meio, ou à baixa amplitude de retorno do sinal ou ainda pode ser resultado da forte dissipação do sinal no meio, acarretando na baixa nitidez da imagem (De Benedetto et al., 2010).

Tabela 1. Propriedades físicas de alguns materiais constituinte do solo e de rochas.

Material	Constante dielétrica (K)	Condutividade elétrica (mS/m)	Velocidade (m/ns)	Atenuação (db/m)	Fonte
Ar	1	0	0,3	0	Annan (1992)
Água destilada	80	0,01	0,033	0,002	Annan (1992)
Água doce	80	0,5	0,033	0,1	Annan (1992)
Areia seca	3 – 5	0,01	0,15	0,01	Annan (1992)
Areia saturada	20 – 30	0,1-1	0,06	0,03 - 0,3	Annan (1992)
Calcário	4 – 8	0,5-2	0,12	0,4 - 1	Annan (1992)
Folhelo	5– 15	1-100	0,09	1 - 100	Annan (1992)
Siltito	5– 30	1-100	0,07	1 - 100	Annan (1992)
Argila	5 – 40	2-1000	0,06	1 - 300	Annan (1992)
Granito	4 – 6	0,01-1	0,13	0,01 - 1	Annan (1992)
Xisto	5 - 15	1-100	0,09	1 - 100	Annan (2001)
Sal seco	5 - 6	0,01-1	0,13	0,01 - 1	Annan (2001)
Água do mar	80	30000	0,01	103	Annan (2001)
Gelo	3 - 4	0,01	0,16	0,01	Annan (2001)
Carvão seco	3,5	-	-	-	Daniels (1996)
Carvão úmido	8	-	-	-	Daniels (1996)
Feldspato (pó)	-	8	-	-	Ferreira (2013)
Mica	6,4	-	-	-	Martinez; Byrnes (1999)
Quartzo	4,5	-	-	-	Olhoeft (1979)
Caolinita	11,8	-	-	-	Olhoeft (1979)
Calcita	6,35	-	-	-	Olhoeft (1979)
Ortoclásio	5,6	-	-	-	Olhoeft (1979)
Halita	5,9	-	-	-	Olhoeft (1979)
Montmorillonita	207	-	-	-	Olhoeft (1979)
Gipsita	6,39	-	-	-	Olhoeft (1979)
Hematita	25	-	-	-	Olhoeft (1979)
Gibbsita	8,4	-	-	-	Olhoeft (1979)
Goethita	11,7	-	-	-	Olhoeft (1979)
Olivina	7,2	-	-	-	Olhoeft (1989)

A atenuação do sinal é uma resultante da interação do pulso eletromagnético com as partículas e espaços porosos (preenchidos por água ou não) do meio, sendo o pulso dissipado ou espalhado no meio. Uma implicação desse fenômeno é que, quanto maior for a frequência da antena, maior é o aumento da perda do sinal, pois pulsos com menor comprimento de onda (inverso da frequência) interagem com partículas e espaços menores. Uma frequência mais alta possui maior interação com o meio, apresentando mais ruídos nos dados expressos no radargrama (Annan, 2009). De forma geral, a Tabela 2 a seguir mostra a relação de algumas frequências de antenas com os alcances das profundidades.

Assim, a escolha da antena é um fator importante na pesquisa feita com o GPR. As antenas podem ser divididas em dois tipos: antenas monoestáticas (cujas partes transmissora e

receptora do sinal estão embutidas em um único dispositivo) e biestáticas (em que as partes transmissora e receptora estão separadas em dois dispositivos distintos) (Lambot et al., 2004). No caso em que o meio oferece muitas características que atenuam o sinal do GPR, o mais indicado é que sejam utilizadas antenas de baixas frequências, pois a menor frequência interage menos com as partículas do solo, podendo obter a penetração do sinal até maiores profundidades (Annan, 2009). Por outro lado, quanto menor a frequência da antena, menor a resolução espacial (tamanho do pixel), ou seja, menor o detalhamento do radargrama. Em suma, a escolha da antena mais apropriada para o trabalho de campo depende do conhecimento preliminar do objeto de estudo que é explorado pelo usuário, assim como também varia com a necessidade de detalhamento do trabalho de campo.

Tabela 2. Relação entre algumas frequências de antena de GPR e profundidade máxima de penetração do sinal no solo.

Frequência central (MHz)	Profundidade máxima de penetração do sinal (m)
1000	1
400	2
200	4
100	25
50	30
25	40
10	50

Fonte: Porsani (1999) apud Barros Júnior (2011).

Além da transmissão e recepção das ondas eletromagnéticas geradas pela própria antena do GPR, por vezes é possível que a antena capture sinais externos que causam influência no radargrama. Existem antenas que não são blindadas e aquelas que são blindadas. Especificamente no caso das que são blindadas, essa blindagem é utilizada para proteger a antena da influência de pulsos eletromagnéticos que não são provenientes do GPR, como também impede que o pulso emitido seja dissipado para outras regiões do ambiente, capturando assinaturas que não são do solo (Daniels, 2009). A Figura 2 mostra um esquema de algumas possíveis vias de sinais que podem alcançar a antena do GPR e aparecer no radargrama. Contudo, alguns problemas podem ser ocasionados devido à blindagem da antena. Primeiramente, o sinal emitido pela antena transmissora precisa chegar ao escudo da antena transmissora, para então alcançar o escudo da antena receptora. Em seguida, o sinal deverá ser capturado pela antena receptora. Dessa forma, na etapa em que o sinal é transmitido de uma antena à outra, o sinal pode ser reverberado por um longo período de tempo, causando ruídos no radargrama (Daniels, 2009), os quais podem ser minimizados ou removidos via processamento digital do radargrama.

Além da resposta elétrica do próprio escudo, uma blindagem eficaz leva a um tamanho maior do transdutor, maior peso e maiores gastos na fabricação da antena. Assim, é de praxis utilizar modelos em que as antenas não sejam blindadas, principalmente nos casos de antenas que possuam baixas frequências (pois são em formatos maiores), visto que o tamanho e o peso da antena são critérios de escolha para trabalhos de campo (Daniels, 2009). Antenas blindadas são geralmente utilizadas quando as frequências são maiores que 100 MHz, pois estão associadas à dispositivos com formatos menores (Daniels, 2009).

Outra informação a ser discutida para o trabalho de campo é o método que será utilizado para coletar os dados geofísicos. Há diferentes formas de serem realizadas as coletas de dados com o GPR. A técnica mais comum é a “common-offset”, em que se realiza um caminhamento contínuo na superfície do terreno enquanto os dados são coletados. Neste caso,

há um espaçamento constante entre as antenas, enquanto o usuário carrega o GPR pela superfície do terreno. Esta técnica pode ser utilizada tanto em GPRs com antenas biestáticas quanto com antenas monoestáticas. Outras técnicas bastante comuns na coleta de dados, incluindo a possibilidade de gerar um modelo de velocidade do pulso para o meio, são o Common Midpoint (CMP) e o Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR), que serão descritas no final desta seção (Barros Júnior, 2011).

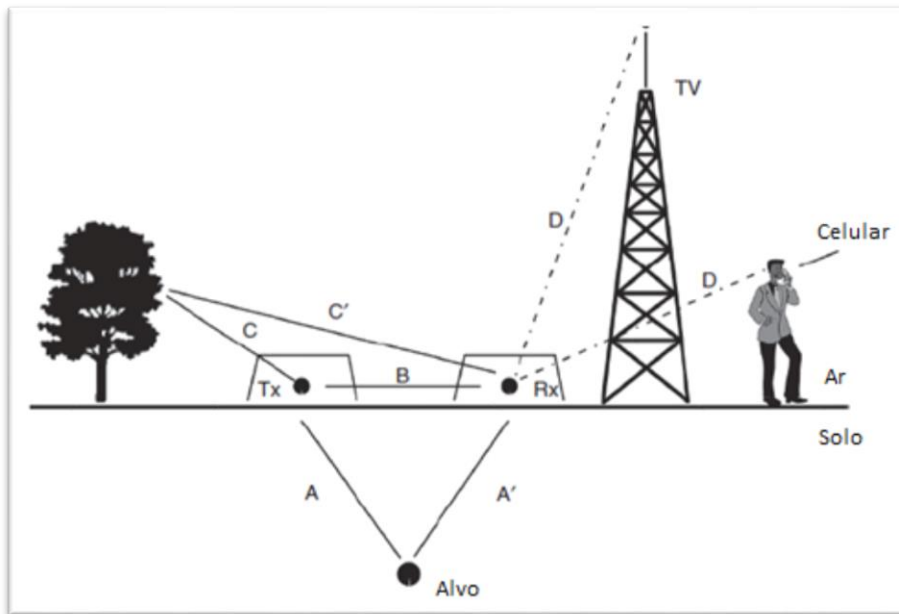


Figura 2. Possibilidades de sinais que a antena do GPR pode captar. O sinal em AA' é maximizado, obtendo-se maior resolução do alvo. Em B minimiza a energia direta do transmissor para o receptor. CC' representa a minimização da energia que escapa para o ar. E em DD' mostra a diminuição da influência de outras fontes de sinais na antena do GPR. **Fonte:** modificado de Daniels (2009).

Assim, após a coleta dos dados, muitas vezes é necessário o tratamento da imagem para que os dados representados no radargrama apresentem, de forma mais fidedigna possível, o que está representado em campo, retirando-se os ruídos possíveis de serem filtrados. Os ruídos são interferências que podem ser obtidas por elementos externos ao meio que é estudado, assim como podem ser oriundas de reflexões múltiplas ou laterais do sinal produzidas no meio, de interferências e irregularidades no terreno, como também podem ser produzidos pela antena e o cabeamento (reverberações e ruído eletrônico) (Aguiar, 2005). Porém, muitos ruídos possuem a mesma frequência do sinal de interesse, podendo, inclusive, sobrepor completamente a imagem desejada. Nestes casos, não há filtros que consigam retirar o ruído por completo, acarretando, muitas vezes, em má interpretação por parte do usuário dos parâmetros do meio. Esses ruídos podem interferir e acarretar em erros na determinação de parâmetros físicos como permissividade efetiva, velocidade de propagação e profundidade no radargrama (Aguiar, 2005).

Nesta perspectiva, os softwares que realizam os processamentos de dados de GPR oferecem uma gama de procedimentos de filtragem com finalidades de retirar sinais de baixa e alta frequência na forma de ruído que podem ser adicionados ao dado desejado, realizar correções de profundidade do meio físico no radargrama (para aqueles modelos de antena que podem realizar tal procedimento), corrigir no radargrama a topografia local, dentre outras possibilidades, com a finalidade de auxiliar na interpretação dos dados expressos no

radargrama. A filtragem dos dados pode ser realizada usando-se desde filtros mais simples (como *dewow*, *static correction*) até filtragens mais complexas. Um esquema de processamento do radargrama é apresentado na Figura 3, sendo que o mesmo pode ser adaptado para diferentes situações.

Um dos filtros mais utilizados é o filtro *dewow*. Este filtro retira a baixa frequência associada aos campos eletrostáticos e indutivos próximos ao GPR. Outras filtragens como deconvolução preditiva e migração são mais específicos para alguns casos. Detalhes sobre o funcionamento dos filtros estão descritos em Aguiar (2005), Daniels (2004) e Cassidy (2009).

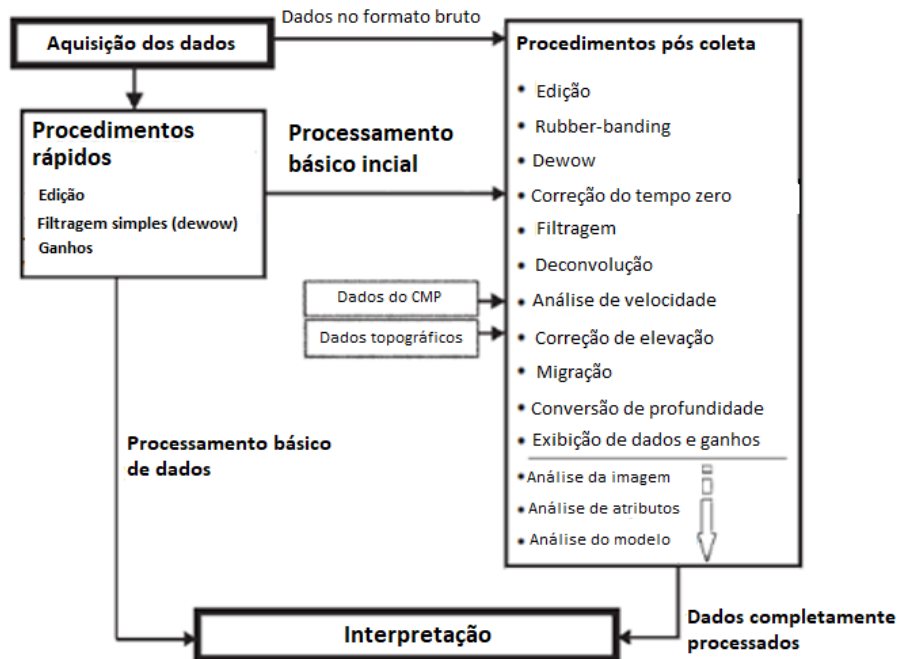


Figura 3. Esquema para processamento do radargrama. **Fonte:** modificado de Cassidy (2009).

Além da filtragem da imagem, que pode melhorar ou possibilitar a visualização dos alvos de interesse, outro ponto central para o sucesso da interpretação das feições do radargrama é a identificação da profundidade em que está o alvo de estudo no solo. A determinação da profundidade é realizada a partir da geração de um modelo de velocidade para o meio estudado expresso no radargrama. Há vários métodos que possuem a finalidade de estimar a velocidade do meio. O mais simples é obter uma tabela de faixa de velocidades conhecidas para diferentes materiais. Contudo, a simples consulta de uma tabela, na maioria das vezes, não atende a necessidade, visto que o solo é um sistema bastante heterogêneo, com uma gama de materiais que o constitui. Assim, a definição da velocidade a partir de um valor estipulado para um único material se traduz, quase sempre, em medidas de profundidades e correções topográficas incorretas (Jacob & Urban, 2015).

Outra possibilidade é a inserção de um objeto no meio (solo) em uma profundidade conhecida, seguida do imageamento do local de inserção com o GPR. Esse método força o aparecimento de um “ponto de espalhamento”, sob forma de hipérbole na imagem, que possibilita a identificação de uma profundidade no radargrama e o cálculo da velocidade do pulso eletromagnético no meio. Porém, o método oferece empecilho, pois a velocidade adquirida, em geral, restringe-se a uma curta seção lateralmente ao objeto inserido no solo, não permitindo a estimativa da velocidade média do pulso no meio como um todo (Jacob & Urban, 2015).

Uma terceira abordagem é a demarcação de hipérbolos em “pontos de espalhamento” amostrados no radargrama, gerados como resultado da interação do pulso eletromagnético com as barreiras naturais presentes no meio (solo). Quando os dados coletados pelo GPR são colocados em software específico de processamento, os radargramas podem possuir regiões (variável com cada solo) onde são observadas hipérbolos, resultantes desses pontos de espalhamento. Essas hipérbolos podem ser usadas para determinar a velocidade do pulso naquela seção (Annan, 2003), sendo que, quanto mais hipérbolos são observadas no radargrama, mais acurado torna-se o modelo de velocidade para toda a seção do radargrama. Porém, esta técnica é restrita, pois é comum que os radargramas não possuam pontos de espalhamento ou não possuam pontos de espalhamento suficientes para que o modelo de velocidade obtido seja confiável.

Por fim, o Common Midpoint (CMP) e o Wide Angle Reflection and Refraction (WARR) são técnicas mais precisas para a obtenção de um modelo de velocidade. Ambos os métodos baseiam-se na leitura de um reflector estipulado em profundidade no solo a partir do afastamento sistemático da antena. A diferença básica entre o CMP e o WARR é referente à disposição do espaçamento entre as antenas transmissora e receptora. Enquanto no CMP ambas as antenas são movimentadas em espaçamentos iguais a partir de um ponto inicial, no WARR a antena transmissora é fixada em um ponto, enquanto que a receptora é movimentada ao longo de um caminho com espaçamento uniforme (Annan, 2003). Apesar do CMP e WARR serem as metodologias que mais apresentam acurácia no modelo de velocidade, um de seus principais fatores limitantes é que só podem ser utilizadas com GPR de antenas biestáticas, pois é necessário que as antenas transmissora e receptora estejam em dispositivos separados. Assim, no caso de antenas monoestáticas, uma forma de se obter o modelo de velocidade é utilizando um dos outros três métodos anteriores.

2.2. GPR Aplicado à Pedologia

Em Pedologia, o GPR possibilita a investigação de características físicas e químicas do terreno em subsuperfície. Camadas de sedimentos que apresentam grandes contrastes em suas constituições (Borges, 2004), sedimentos arenosos (Gandolfo et al., 2001) e monitoramento de plumas de contaminação (Castro, 2007; Moreira & Dourado, 2007) são possibilidades em que o GPR pode ser utilizado como forma a maximizar e acelerar o mapeamento dessas variáveis em campo. Outra variável estudada usando o GPR é a umidade do solo (Barbosa et al., 2010; Paixão et al., 2006). A determinação da umidade com o GPR é um dos temas mais estudados e é feita a partir de correlações entre os sinais obtidos em campo ao longo de um caminhamento como GPR e os métodos tradicionais, como o Time Domain Reflectometry (TDR) ou a medição da umidade gravimétrica feita em estufa.

O GPR também pode ser utilizado em trabalhos de mapeamento de solos, principalmente quando as classes de solo de uma área possuem características distintas entre si. Neste caso, marcadores pedológicos, que são inerentes a cada tipo de solo, apresentam feições no radargrama que possibilitam a distinção de horizontes/camadas, auxiliando na determinação de diferentes classes de solo (Zhang et al., 2014). Porém, sempre há necessidade de se calibrar o dado amostrado na imagem de GPR com a realidade de campo. Além disso, é importante o conhecimento mínimo e prévio do solo estudado para realizar a escolha da frequência da antena para ter melhores resultados, dependendo do objetivo do estudo (Ucha et al., 2002).

Contudo, apesar do GPR ser útil em estudos pedológicos, há fatores que limitam a utilização desta técnica no estudo de solos. Constituintes do solo que apresentam propriedades condutivas, como é o caso dos minerais na fração argila, da água do solo (Cezar et al., 2012) e de íons e sais em altas concentrações, provocam atenuação do sinal no meio, causando má

nitidez do radargrama (Hagrey & Mueller, 2000). Os principais fatores do solo que controlam a nitidez do radargrama são: a) porosidade e quantidade de água; b) presença de sais; e c) quantidade dos minerais na fração argila. Esses fatores influenciam de forma significativa na qualidade da imagem apresentada no radargrama (Doolittle & Collins, 1995; Loewer et al., 2016). Dos principais fatores que alteram a condutividade elétrica do solo, a água é o que mais influencia na nitidez do radargrama, pois pequenas variações de seu conteúdo no solo podem mudar drasticamente a constante K do solo, interferindo diretamente na condutividade do solo (Cezar et al., 2010; Doolittle & Collins, 1995).

De forma indireta, a densidade do solo é um parâmetro que influencia na nitidez do radargrama, pois seu valor determina a porosidade do solo. Assim, a densidade e a porosidade são aspectos importantes na qualidade da imagem, pois influenciam na quantidade de água e ar que o solo pode armazenar por um curto a longo período de tempo (Cezar et al., 2010). De forma geral, recomenda-se utilizar o GPR em condições de solo mais secas possíveis (Doolittle & Collins, 1995).

Contudo, apesar da umidade ser uma barreira no estudo de solos, é possível o uso do GPR em solos totalmente submersos, dependendo do tipo de antena utilizada e do objetivo do trabalho. Neste caso, antenas de mais baixa frequência são mais recomendadas e, geralmente, são utilizadas com o objetivo específico de mapear a profundidade do solo e das camadas de sedimentos (Moutinho et al., 2005)

Outro aspecto que deve ser observado em campo é a ocorrência de sais na superfície do solo (Hagrey & Mueller, 2000). Recorrente em regiões áridas e semi-áridas, sais solúveis de potássio e sódio e carbonatos de cálcio e magnésio menos solúveis acumulam-se nos horizontes mais superficiais do solo. A presença desses sais ocasiona uma alta condutividade do solo, atenuando o sinal do GPR em profundidade. Assim, a investigação com o GPR em solos salinos restringe-se à exploração da superfície do solo, não ultrapassando, em geral, mais que 20 cm de profundidade (Doolittle & Collins, 1995).

Os minerais na fração argila aumentam a dissipação de energia no solo, atenuando o sinal expresso no radargrama. Esse efeito é decorrente das propriedades elétricas dos minerais nesta fração ocasionadas pelas suas estruturas cristalinas. Por causa das substituições isomórficas, esses minerais possuem carga negativa em sua superfície. Esses sítios de carga podem ser neutralizados por uma gama de cátions, tais como Na^+ , K^+ , Mg^+ , Ca^{2+} e H^+ (resultantes da capacidade de troca catiônica – CTC – do solo), que fornecem um caminho alternativo à condução da eletricidade no solo (De Benedetto et al., 2010; Daniels et al., 1988).

A maior dissipação do pulso eletromagnético ocorre nas argilas de alta atividade, tipicamente aquelas do tipo 2:2 e 2:1, pois possuem maior capacidade de adsorção de íons quando comparadas àquelas do tipo 1:1. Nesta perspectiva, ao comparar-se solos formados por argilas de mais alta atividade, como é o caso de solos com esmectitas e vermiculita (por exemplo, Vertissolos), é comum que o radargrama apresente regiões com mais ruídos quando comparados com solos constituídos de argilas de baixa atividade, como caolinitas, gibbsita e goethita (Daniels et al., 1988).

A alta concentração de íons no solo, por causa natural ou antrópica, ocasiona o aumento da condutividade do pulso eletromagnético emitido pelo GPR. Assim, o sinal é perdido pelo terreno, o que gera muito ruído na imagem. Porém, essa interferência não é sempre um fator negativo. Moreira & Dourado (2007) conseguiram determinar uma zona de poluição devido à má nitidez do radargrama ocasionada pelo aumento anômalo de íons no meio. Ou seja, a seção que apresentou a pior qualidade representou essa zona de poluição que pôde ser mapeada no solo.

Não só as argilas podem provocar ruídos no radargrama. Solos com maiores quantidades de colóides orgânicos (ácidos húmicos, fúlvicos e huminas), como solos

orgânicos e turfeiras, apresentam alta atenuação do sinal e, conseqüentemente, alta expressão de ruídos (Doolittle & Collins, 2009). Isso se deve porque, de forma análoga à mineralogia das argilas, a constituição da matéria orgânica também interfere na qualidade do sinal obtido por causa da sua alta quantidade de cargas elétricas (maior que das argilas) na superfície dessas partículas e, por conseguinte, alta CTC. Porém, de acordo com estes autores, é possível fazer a determinação geral do tipo de matéria orgânica que está presente nestes solos orgânicos utilizando o GPR. Por via de regra, para uma mesma frequência de antena, solos com matéria orgânica de caráter ácido apresentam melhor resolução quando comparado com solos com matéria orgânica de composição mais alcalina (Doolittle & Collins, 2009).

Dessa forma, o conjunto de possibilidades e limitações do GPR ainda pode ser favorável para a determinação de horizontes e camadas e mapeamento de classes de solo. As mudanças das propriedades químicas e físicas que o solo pode apresentar (tanto vertical quanto horizontalmente) são fatores que ajudam a separar regiões de solos distintos (Collins et al., 1986; Freeland et al., 1998), assim como mapear seus limites e transições laterais (Ucha et al., 2002). Para isso, é necessário o conhecimento prévio do terreno a ser explorado para que seja escolhida a melhor técnica a ser empregada, não só em relação ao tipo de GPR, mas também em relação à técnica geofísica. Da mesma forma, o trabalho utilizando o GPR aplicado aos solos não exclui a necessidade de serem realizadas atividades de campo, pois é necessário que haja o emprego de metodologias convencionais de coleta e análise de solos para realizar a interpretação do que é visto no radargrama (Cezar et al., 2009, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no município de Seropédica, localizado no estado do Rio de Janeiro, Brasil, nas coordenadas geográficas centrais aproximadas $22^{\circ}54'00''$ S e $43^{\circ}55'00''$ W (Figura 4). O clima do município caracteriza-se por ser do tipo Aw (Tropical com inverno seco), segundo a classificação de Köppen. Seropédica tem uma temperatura média de $23,5^{\circ}\text{C}$ e uma pluviosidade média anual de 1354 mm. Os maiores valores de precipitação são verificados nos meses de novembro a janeiro e os menores no período entre maio e agosto (Oliveira et al., 2014).

Em relação ao arcabouço geológico do município, de acordo com Silva (2001) apud Monsorens et al. (2003), a geologia é formada por um embasamento constituído, principalmente, por hornblenda-biotita gnaiss. Migmatitos e microclina-gnaiss podem aflorar como corpos intrusivos tabulares no hornblenda-biotita gnaiss. Diques ou *sills* de rocha básica com orientação preferencial NNE/SSW, ocorrem discordantes a sub-concordantes em relação ao bandamento principal da unidade geológica microclina-gnaiss.

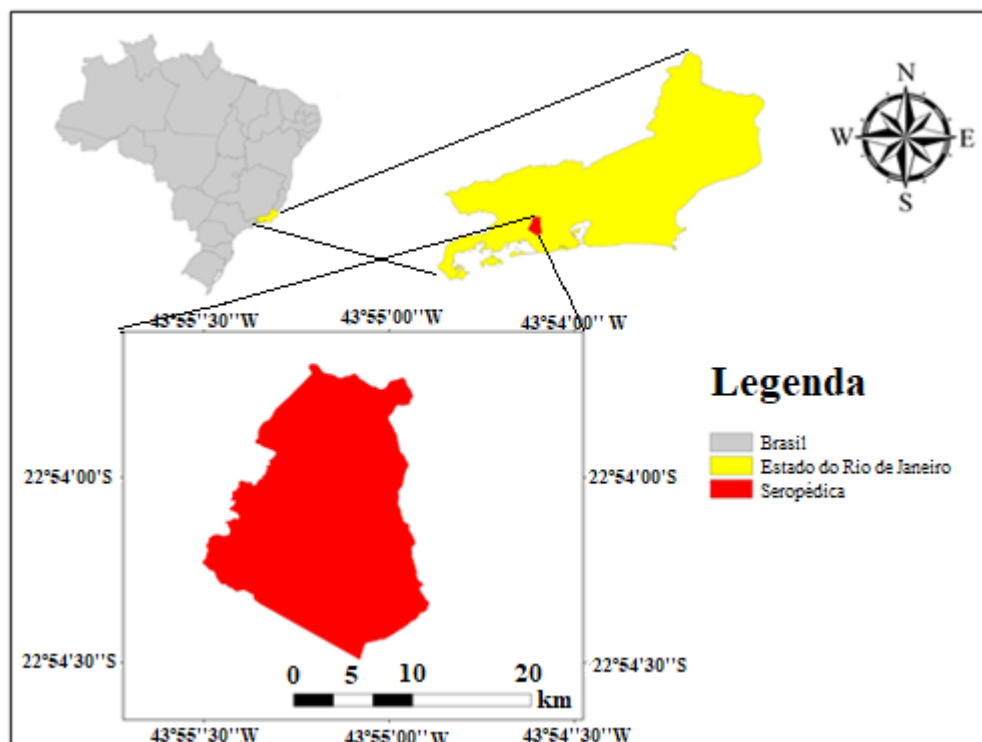


Figura 4. Mapa de localização do município de Seropédica-RJ.

O depósito quaternário inconsolidado formado sobre o embasamento é constituído de sedimentos de ambiente aluvionar (fluvial, flúvio-marinho e flúvio-lacustre) da Bacia de Sepetiba (Góes, 1994). Os sedimentos integram a Formação Piranema, sendo representados por duas unidades. A unidade inferior é constituída por fácies arenosa de idade pleistocênica, caracterizada por areias de granulação média a muito grossa com cascalho (este último geralmente basal), constituído, principalmente, de quartzo e feldspato. A unidade superior, de idade holocênica, é denominada aluvionar de cobertura e é formada por fácies siltico-argilosa.

Especificamente, o trabalho foi desenvolvido na Fazendinha Agroecológica km 47 (Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA), associada à Embrapa Agrobiologia,

Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio) e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, nas coordenadas geográficas centrais aproximadas 22°45'0" S e 43°40'30" W (Figura 5). A área encontra-se ocupada por pastagem e caracteriza-se por apresentar relevo suave-ondulado a ondulado, altitude entre 17 a 50 m sobre o nível do mar, e ausência de rochiosidade e pedregosidade em superfície.

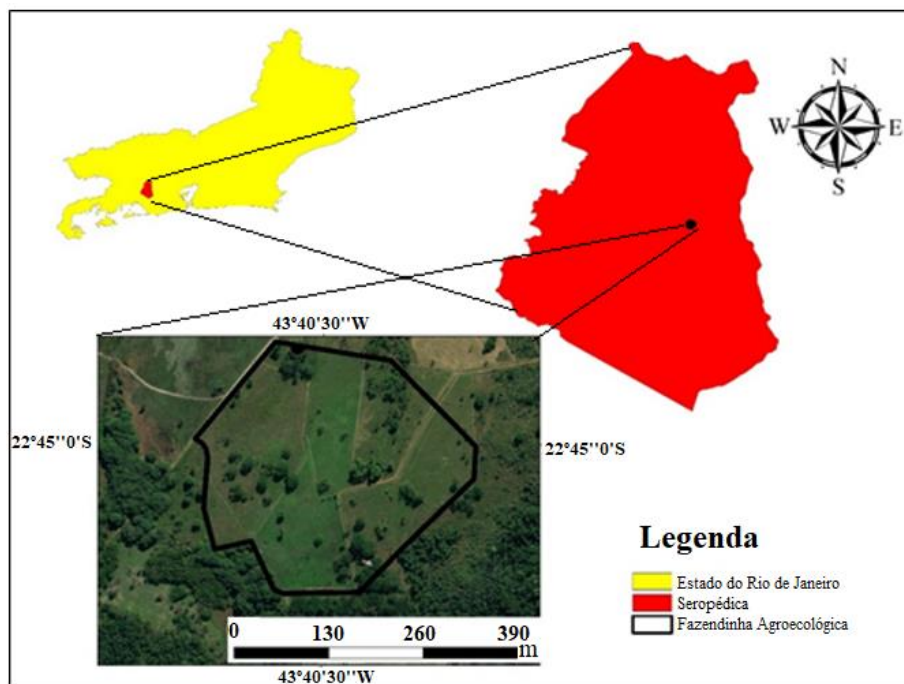


Figura 5. Mapa de localização da área de estudo em Seropédica-RJ.

3.2. Procedimentos Realizados

Para este trabalho, foram abertas 10 trincheiras em diferentes pontos da paisagem, onde foram descritos e classificados perfis do solo, sendo uma trincheira no topo (P10), duas na posição de terço médio (P3 e P9), uma no terço inferior (P8), três no sopé da vertente (P2, P5 e P7) e três na área de baixada (P1, P4 e P6) (Figura 6). Os perfis foram descritos e coletados segundo Santos et al. (2015). Foram coletadas amostras deformadas, guardadas em sacos plásticos de 1 kg, e amostras indeformadas, que foram previamente identificadas. Foram medidos atributos físicos (granulometria, densidade da partícula, densidade do solo, macro e microporosidade) e químicos (concentrações de sódio, potássio, cálcio, magnésio, H+Al, alumínio e carbono orgânico total) do solo nos laboratórios do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, segundo Donagema et al. (2011). Os perfis foram, então, classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

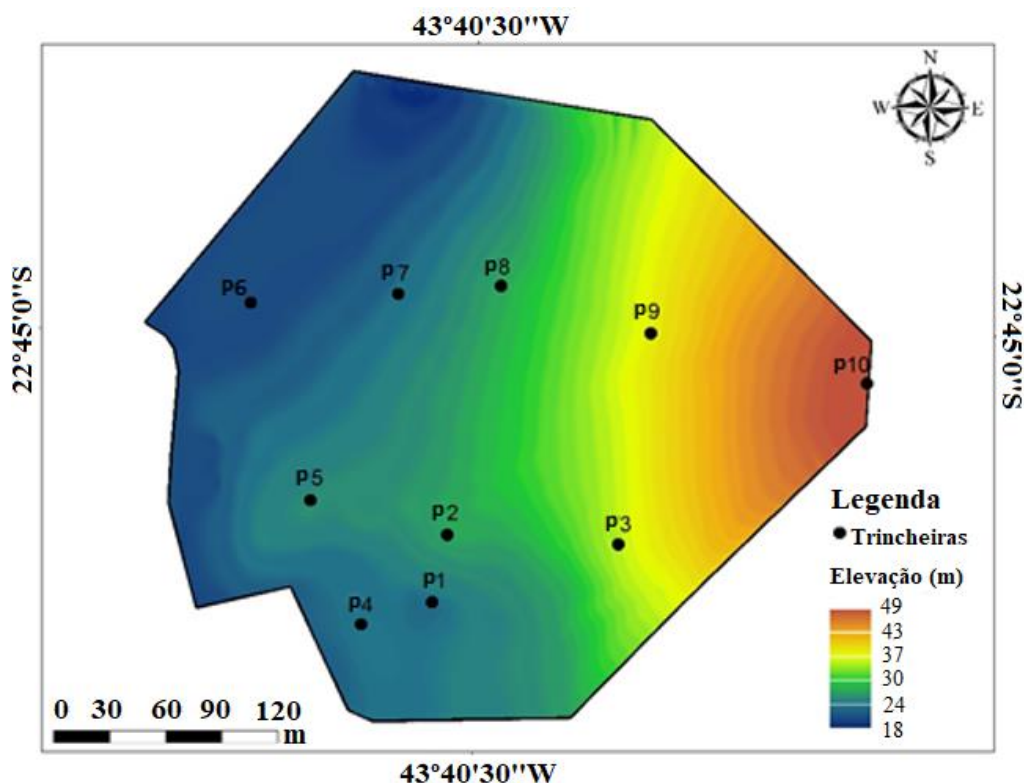


Figura 6. Mapa de localização dos perfis de solo na área de estudo, mostrando o modelo digital do terreno no fundo. A classificação dos perfis de solo está apresentada na Tabela 3 na próxima seção.

Após a delimitação dos horizontes em cada solo, foi colocada 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 (Figura 7). Depois, navegou-se ao longo de transetos perpassando os 10 perfis de solo com o GPR MALÅ GroundExplorer (Guideline Geo AB, Sundbyberg, Suécia), com odômetro, sendo obtidas duas leituras, cada uma usando uma antena monoestática blindada, de 450 e 750 MHz, respectivamente. Ao final do procedimento de campo, obtiveram-se 20 radargramas (transetos), sendo 10 com a antena de 450 MHz e 10 com a de 750 MHz, armazenados no computador de bordo do GPR.

Para a interpretação do perfil de solo estudado em cada radargrama, foi anotada em campo a posição espacial do perfil dentro do radargrama. Também, foi anotada a distância de cada barra de ferro até os limites laterais de cada perfil. Adicionalmente, nos dias em que o GPR foi utilizado em campo, foram retiradas amostras de solo de cada horizonte, pesadas em balanças de precisão de duas casas decimais e colocadas em estufa (de 105 a 110 °C por 24 a 48 horas) para determinação da umidade gravimétrica ao longo da seção vertical de cada perfil de solo.

Após a obtenção dos radargramas, os arquivos foram retirados do computador do GPR e colocados em um segundo computador, com posterior processamento de dados utilizando o software ReflexW (Sandmeier, 2009). O processamento das imagens seguiu, apenas, duas etapas realizadas em sequência: *static correction* e *dewow*. O uso de outros filtros disponíveis no software resultou em má nitidez dos radargramas, o que dificultou a interpretação de possíveis feições do solo expressas nas imagens e a visualização das hipérbolas geradas a partir da interação dos pulsos eletromagnéticos emitidos pelo GPR com as barras de ferro (pontos de espalhamento).

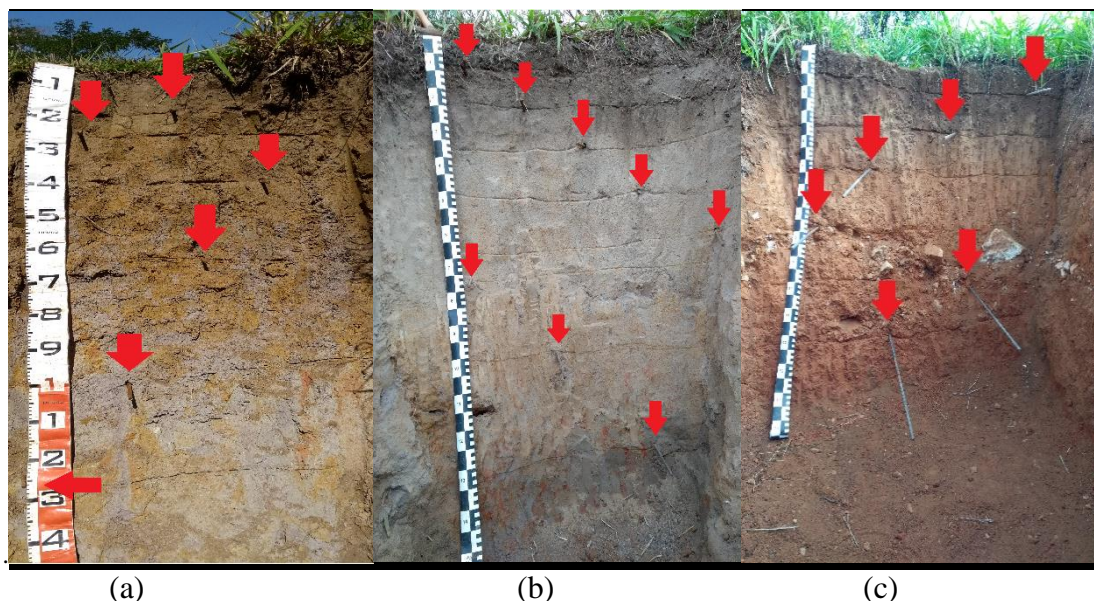


Figura 7. Disposição das barras de ferro ao longo dos perfis: a) CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico (P1); b) PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico (P7); c) ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (P9). As setas vermelhas apontam a posição em que as barras foram inseridas.

Após a identificação das hipérboles geradas pelas barras de ferro no radargrama, foi utilizada a ferramenta para a estimativa da velocidade de propagação do pulso de GPR no software ReflexW. Para isso, hipérboles foram encaixadas, de forma manual e visual, no topo das hipérboles (pontos de espalhamento) utilizando a ferramenta. As velocidades do pulso foram estimadas a partir dessas hipérboles e, em sequência, um modelo de profundidade a partir das velocidades adquiridas foi elaborado, convertendo o eixo Y do radargrama de tempo (ns) para profundidade (m) (Sandmeier, 2009). A velocidade do pulso estimada em cada ponto de espalhamento foi validada a partir da correlação da profundidade conhecida (de campo) de um ou mais pontos de espalhamento com as profundidades geradas no radargrama após a conversão do eixo Y para valores de profundidade (m).

Os radargramas dos diferentes tipos de solos foram interpretados tendo como base a descrição dos perfis de solo e os seus atributos físicos e químicos medidos em campo, sendo avaliada a nitidez dos radargramas em geral, a facilidade de visualização (contraste) dos pontos de espalhamento (hipérboles) gerados pelas barras de ferro, e a capacidade e acurácia dessas hipérboles em estimarem a velocidade de propagação do pulso no solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classificações dos solos estão listadas na Tabela 3, enquanto que as fichas com a descrição morfológica dos horizontes e resultados das análises químicas de rotina estão, respectivamente, nos Anexos I e II.

Tabela 3. Classificação dos perfis de solo da área de estudo.

CLASSIFICAÇÃO SIBCS (2018)	PERFIL	CLASSIFICAÇÃO SIBCS (2018)	PERFIL
PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico	P2 e P7	ARGISSOLO AMARELO Eutrófico nitossólico	P8
PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênico	P5	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico nitossólico	P10
PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico	P4 e P6	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico	P1
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico	P3 e P9	-----	

Os radargramas gerados a partir do uso das duas antenas nos solos estão apresentados a seguir. Para cada perfil é apresentada uma tabela individual com os resultados das análises morfológicas, físicas e químicas de cada horizonte. As linhas vermelhas vistas nos radargramas foram feitas no programa Paint do Windows com a finalidade de destacar a posição do perfil no radargrama onde foram inseridas as barras de ferro.

4.1. Análise dos Radargramas dos Planossolos

Na área foram descritos dois perfis de solo classificados como PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico (P2 e P7), um PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênico (P5) e dois como PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico (P4 e P6).

No perfil P2 (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico), a textura arenosa atinge até 69 cm de profundidade (Tabela 4; Figura 8), onde há uma mudança textural abrupta da base do horizonte E para o horizonte Bt1, com um aumento de 4,5 vezes de argila em Bt1 em relação ao E, também associada a uma diminuição no teor da fração areia de 270 g kg⁻¹. Quanto aos dados químicos, as concentrações de alumínio, alumínio + hidrogênio e cálcio também aumentam consideravelmente em Bt1. Os valores de umidade são coerentes ao longo do perfil, visto que o aumento de argila em Bt1 acarreta no aumento de umidade neste horizonte comparado com o horizonte E de textura arenosa.

Tabela 4. Caracterização morfológica, física e química do perfil P2.

P2 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico									
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA									
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)
		Areia	Arg.				Macro	Micro	
A	0-8	809	99	5YR 4/1	1,43	2,58	35,0	20,7	3,8
AE	8-22	876	43	7,5YR 4/1	1,48	2,53	43,4	14,1	2,2
E	22-69	831	92	10 YR 5/2	1,56	2,59	30,0	17,0	2,1
Bt1	69-92	564	388	10YR 4/6	1,55	2,54	27,6	26,3	5,9
Bt2	92-133	441	443	10YR 4/3	1,6	2,62	23,8	33,7	5,1
Bt3	133-155 ⁺	513	367	10 YR 4/4	1,57	2,63	20,8	35,3	6,9

Continua...

Tabela 5. Caracterização morfológica, física e química do perfil P2. Continuação

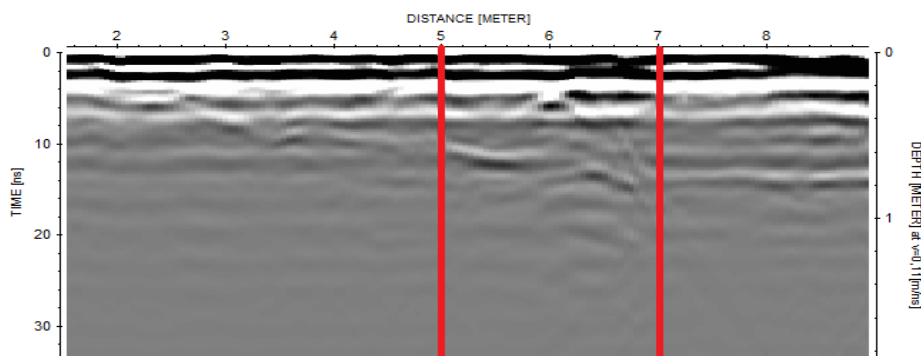
Hor.	ANÁLISE QUÍMICA									Corg g/kg
	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	
					cmolc / dm ³			--- % ---		
A	0,08	0,2	1,0	0,18	5,6	0,2	1,47	7,07	21	9,3
AE	0,09	1,1	0,6	0,11	3,0	0,0	1,90	4,90	39	6,3
E	0,09	0,6	0,4	0,07	1,5	0,1	1,16	2,66	44	8,6
BE	0,08	1,7	0,7	0,02	4,7	1,2	2,50	7,20	35	9,4
Bt1	0,08	1,2	0,8	0,02	5,6	1,1	2,10	7,70	27	9,2
Bt2	0,08	2,1	1,0	0,02	4,7	0,4	3,20	7,90	41	9,3

Legenda: **Hor.** = Horizonte; **Profund.** = Profundidade; **Gran.** = Granulometria; **Arg.** = Argila; **Ds** = Densidade do solo; **Dp** = Densidade da partícula; **Ug** = Umidade gravimétrica; **S** = Soma de bases trocáveis; **T** = Capacidade de troca de cátions; **V** = Percentagem de saturação por bases; **Corg** = Carbono orgânico total.

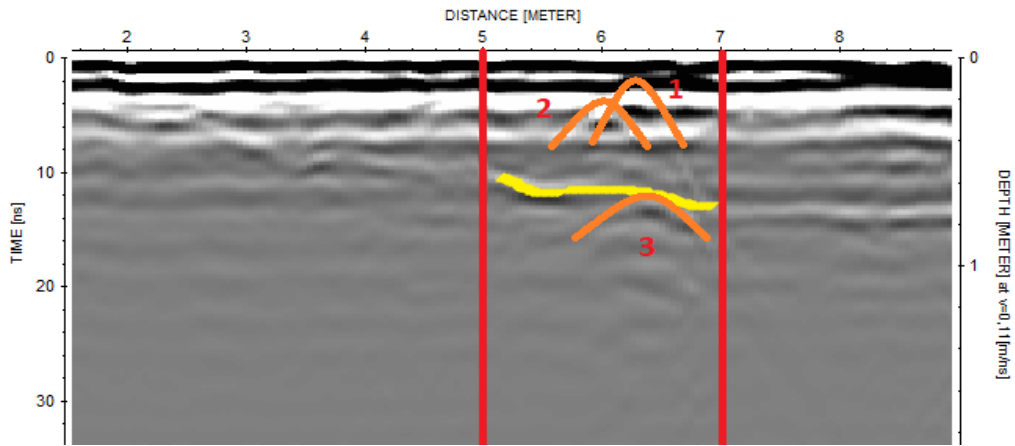


Figura 8. Disposição das barras de ferro no P2.

O radargrama do P2 obtido pela antena de 450 MHz possibilitou uma visualização nítida das hipérboles que representam as barras de ferro colocadas nos horizontes superficiais (Figura 9a), tal como ocorreu em um estudo de detecção de canos em horizontes com predominância da fração areia (Juliano et al., 2013). Com esta antena foi possível determinar as primeiras três transições do perfil, ressaltando a transição do horizonte E para o horizonte Bt1. Nesta transição aparece uma feição que pode representar uma camada guia da base do horizonte E na faixa média de 10 ns marcada em amarelo na Figura 9b. Uma camada guia é uma feição na imagem que pode ajudar na delimitação de uma característica natural contínua (ou parcialmente contínua) no solo ao longo da seção horizontal de um caminhamento expresso no radargrama. O modelo de profundidade deste radargrama foi ajustado considerando a velocidade do pulso medida de 0,11 m/ns.



(a)



(b)

Figura 9. Radargramas do P2 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro em laranja e da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo.

Neste solo não foram identificadas as hipérboles das barras de ferro inseridas nas subdivisões do horizonte B. Isso pode ter sido causado pelos mais altos teores de argila e valores maiores de umidade nas subdivisões deste horizonte. As maiores quantidades de argila e água podem causar aproximação dos valores K entre a barra de ferro e o solo circundante, o que pode ocasionar a supressão das assinaturas das barras sob forma de hipérbole no radargrama (De Benedetto et al., 2010), mesmo com a antena de 450 MHz tendo um alcance teórico aproximado de 1,5 m a 2 m de profundidade.

A velocidade de 0,11 m/ns estimada no ReflexW possibilitou aferir as hipérboles vistas no radargrama com as três transições demarcadas em campo. Após ajustar as profundidades, a linha demarcada em amarelo tem a mesma profundidade da base do horizonte E, o que confirma ser uma camada guia para essa transição dentro do perfil (Figura 10). Os números associados às hipérboles representam as transições entre os horizontes do solo, da superfície para baixo.

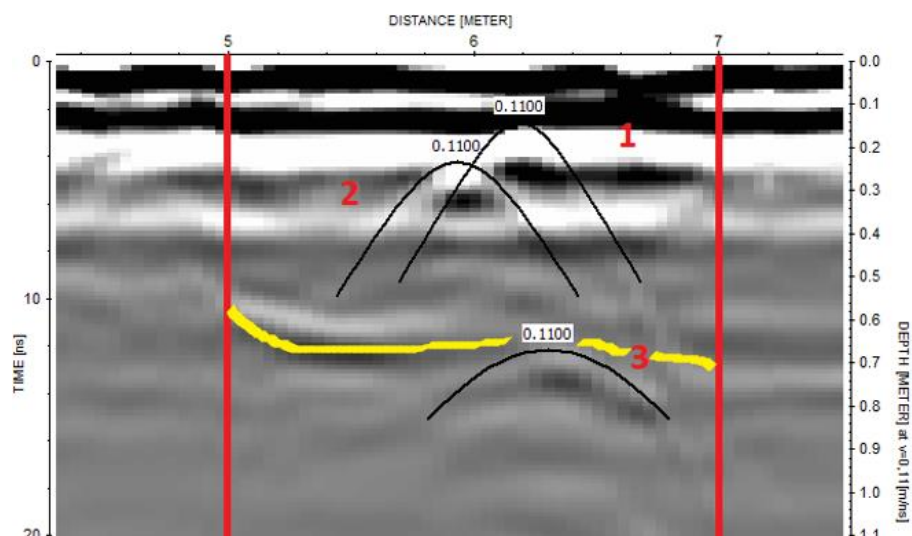


Figura 10. Determinação da velocidade do pulso no solo em P2 com a antena de 450 MHz e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.

O radargrama da antena de 750 MHz também identificou as primeiras três transições (barras de ferro) deste solo, conseguindo assinalar a barra de ferro a 69 cm de profundidade, apesar de haver menor nitidez quando comparado com a antena de 450 MHz. Também houve menor resolução da camada guia que marca a base do horizonte E dentro da seção do perfil no radargrama (Figura 11). Essa menor resolução é devido à maior interação do pulso emitido pela frequência mais alta, o que acarreta maior dissipação do sinal (Annan, 2009). Neste caso, a profundidade foi ajustada de acordo com velocidade do pulso medida de 0,10 m/ns.

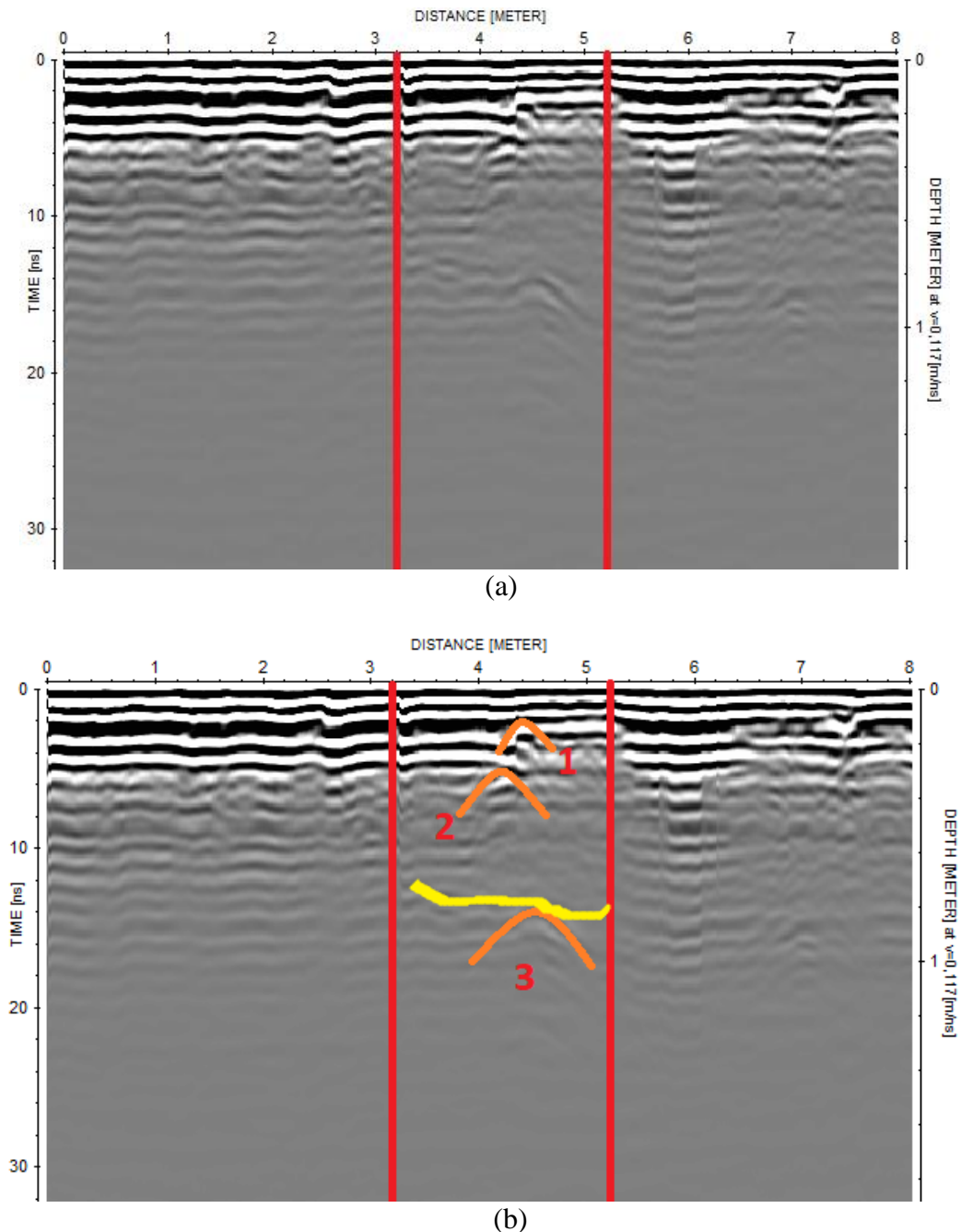


Figura 11. Radargramas do P2 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérbolas geradas pelas barras de ferro em laranja e da possível camada guia associada à base do horizonte E em amarelo.

Para o radargrama da antena de 750 MHz também houve boas aferições das hipérbolas utilizando a velocidade de 0,10 m/ns, sendo essa velocidade ligeiramente menor que a medida no radargrama de 450 MHz (Figura 12). Este efeito é resultado da maior interação do pulso com o meio, o que retarda a velocidade da onda no solo. Neste radargrama a principal diferença foi a diminuição da nitidez das hipérbolas e menor resolução da camada guia que marca a base do horizonte E. Porém, ainda foi viável a utilização de ambas as antenas neste perfil.

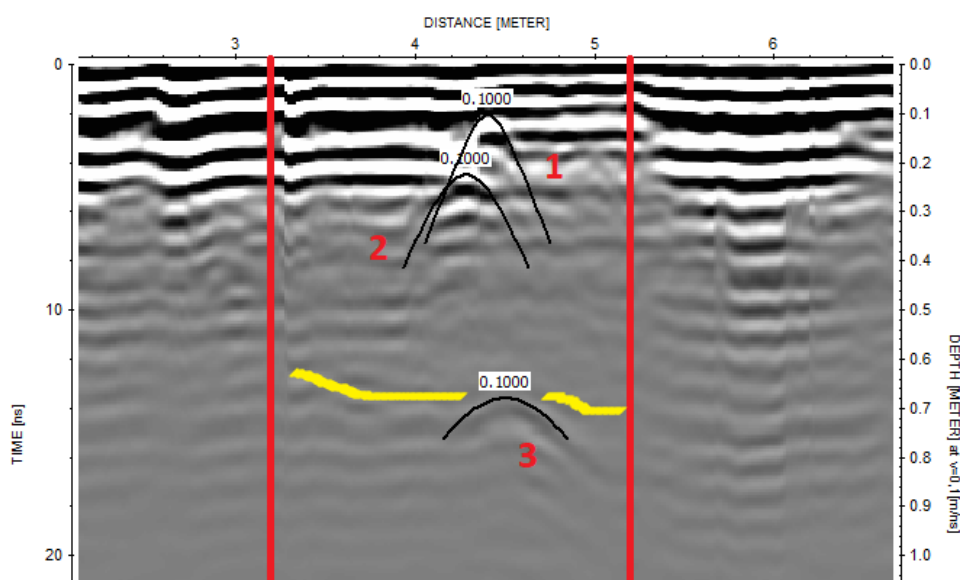


Figura 12. Determinação da velocidade do pulso no solo em P2 com a antena de 750 MHz e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.

No perfil P4 (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico), a mudança mais marcante entre os atributos físicos ao longo do perfil é o aparecimento de mudança textural abrupta a 57 cm de profundidade, onde ocorre um aumento de 7 vezes de argila em Btg1 em relação ao Eg (Tabela 5; Figura 13). Os valores mais elevados de umidade neste perfil, da mesma forma que no P6 (apresentado adiante), devem-se à sua posição na parte mais baixa do relevo, favorecendo o acúmulo de água proveniente da parte mais alta, assim como sua proximidade com o lençol freático. Como pode ser visto, o aumento da umidade em Btg1 é condizente com o aumento de argila neste horizonte comparado ao horizonte Eg. Quanto aos atributos químicos, em Btg1 observou-se um grande aumento de alumínio, cálcio, magnésio e sódio em relação ao horizonte anterior, aumentando gradativamente em profundidade.

Tabela 6. Caracterização morfológica, física e química do perfil P4.

P4 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico									
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA									
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)
		Areia	Arg.				Macro	Micro	
A1	0-15	794	58	5YR 3/1	1,64	2,45	22,9	29,8	4,5
A2	15-35	830	60	5YR 4/1	1,85	2,59	34,6	20,9	2,4
Eg	35-57	866	54	10YR 5/3	1,83	2,59	28,2	17,6	2,7
Btg1	57-80	530	370	10YR 6/2	1,84	2,54	14,6	32,4	5,8
Btg2	80-110	563	311	10YR 6/2	1,97	2,54	15,1	29,8	7,5
Btg3	110-123	559	278	10YR 5/2	1,77	2,56	13,7	39,7	4,1
Cg	123-140 ⁺	613	265	10YR 6/2	1,52	2,54	15,6	38,8	8,3

Continua...

Tabela 7. Caracterização morfológica, física e química do perfil P4. Continuação

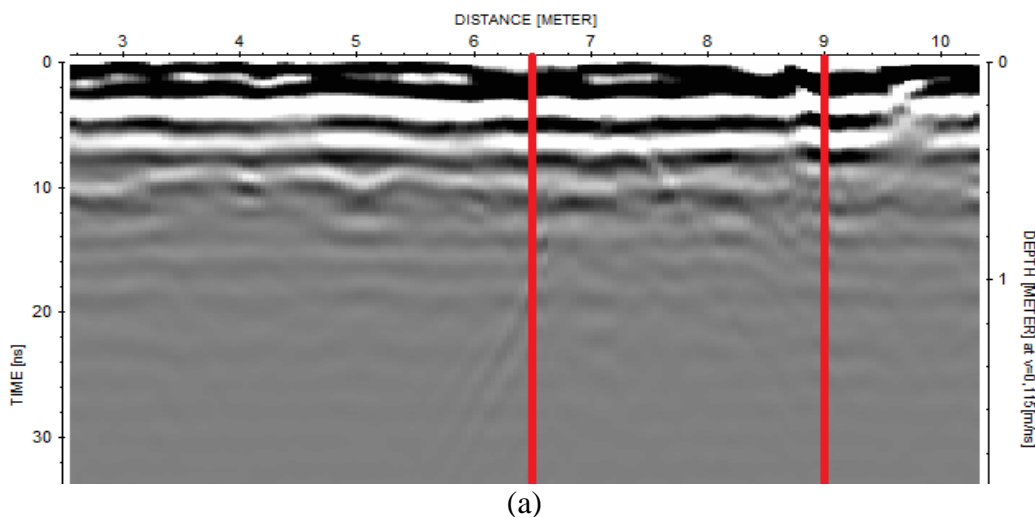
Hor.	ANÁLISE QUÍMICA									Corg g/kg
	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	
					cmolc / dm ³				- % -	
A1	0,062	1,5	1,0	0,10	7,9	0,2	2,66	10,56	25	7,7
A2	0,035	0,7	0,7	0,03	4,7	0,4	1,46	6,16	24	6,5
Eg	0,040	0,7	0,6	0,01	3,7	0,4	1,35	5,05	27	6,3
Btg1	0,309	2,1	1,9	0,02	12,7	4,4	4,33	17,03	25	3,2
Btg2	0,309	3,1	2,8	0,02	9,9	4,3	6,22	16,12	39	0,4
Btg3	0,353	4,2	4,1	0,03	9,9	4,0	8,69	18,59	47	4,5
Cg	0,397	5,5	5,3	0,40	8,6	3,3	11,60	20,20	57	6,2

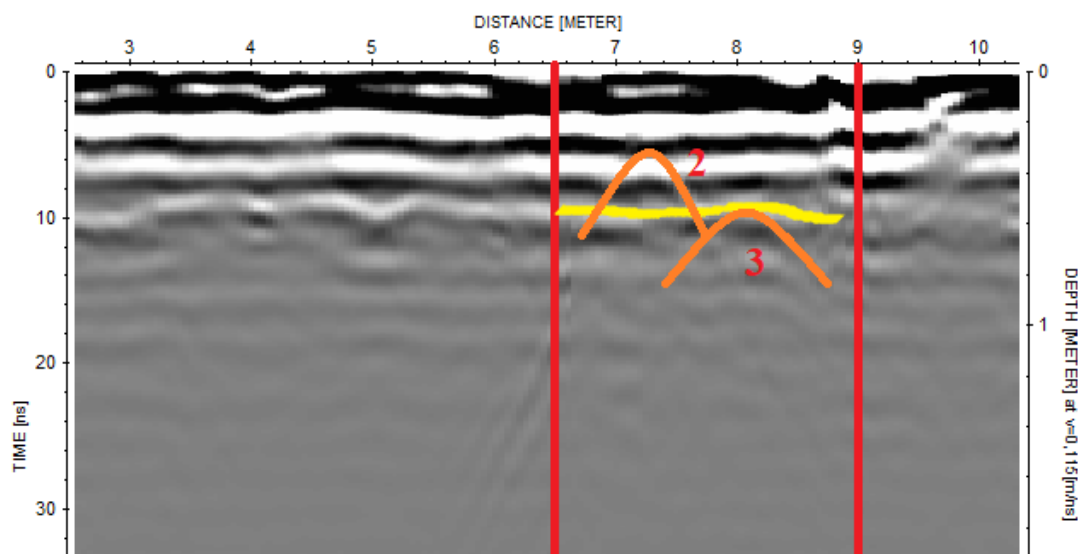
Legenda: **Hor.** = Horizonte; **Profund.** = Profundidade; **Gran.** = Granulometria; **Arg.** = Argila; **Ds** = Densidade do solo; **Dp** = Densidade da partícula; **Ug** = Umidade gravimétrica; **S** = Soma de bases trocáveis; **T** = Capacidade de troca de cátions; **V** = Percentagem de saturação por bases; **Corg** = Carbono orgânico total.



Figura 13. Disposição das barras de ferro no P4.

O radargrama da antena de 450 MHz mostrou apenas dois pontos de espalhamento, assinalando as segunda e terceira transições. Além disso, ele permitiu observar uma possível camada guia associada à base do horizonte E, onde há o contraste da base do horizonte Eg, marcado em amarelo, com o aumento expressivo de 7 vezes de argila em Btg 1 (Figura 14). Aqui, o radargrama teve sua profundidade ajustada utilizando a velocidade do pulso de 0,115 m/ns.





(b)

Figura 14. Radargramas do P4 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e demarcação da possível camada guia em amarelo.

A concentração de íons nos horizontes de textura arenosa e a presença de óxidos de ferro na forma de mosqueados podem ter contribuído com a má nitidez nas assinaturas das barras de ferro (Moreira & Dourado, 2007). O mosqueado é uma feição morfológica do solo decorrente da presença de duas ou mais cores no perfil. A cor predominante é de fundo ou matriz, enquanto as que ocorrem em menor proporção são consideradas como mosqueados (Ribeiro et al., 2015). Nos perfis estudados, as cores dos mosqueados são resultantes das concentrações de minerais de ferro devido às frentes de inundação temporária do perfil. Nestes casos, os mosqueados podem apresentar minerais de baixa cristalinidade (como a ferrihidrita) (Kämpf et al., 2015), o que aumenta a quantidade de carga nessas regiões, aumentando o valor da constante K. Assim, esses mosqueados podem estar diminuindo as diferenças entre as constantes K da barra de ferro e do solo circundante, impedindo que a assinatura da barra de ferro seja capturada de forma nítida ou mesmo impedindo sua identificação no radargrama (Daniels et al., 1988). A ausência da hipérbole na transição de Btg1 para Btg2 neste solo pode ser resultado da presença de mosqueados, além do maior teor de argila desses horizontes, fatores que podem ter dissipado o sinal da antena, mascarando a barra de ferro nessa transição, apesar de ela estar a 80 cm de profundidade.

Para este radargrama, com a velocidade estimada de 0,115 m/ns, pôde-se aferir a profundidade de ambas as hipérboles, confirmando a camada guia como a base do horizonte E em 57 cm (em amarelo) (Figura 15).

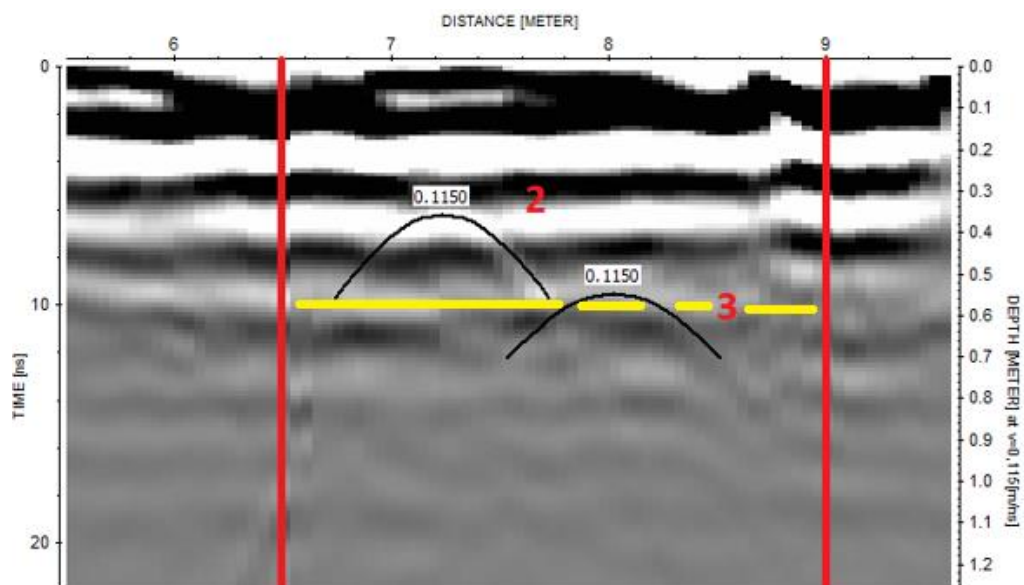
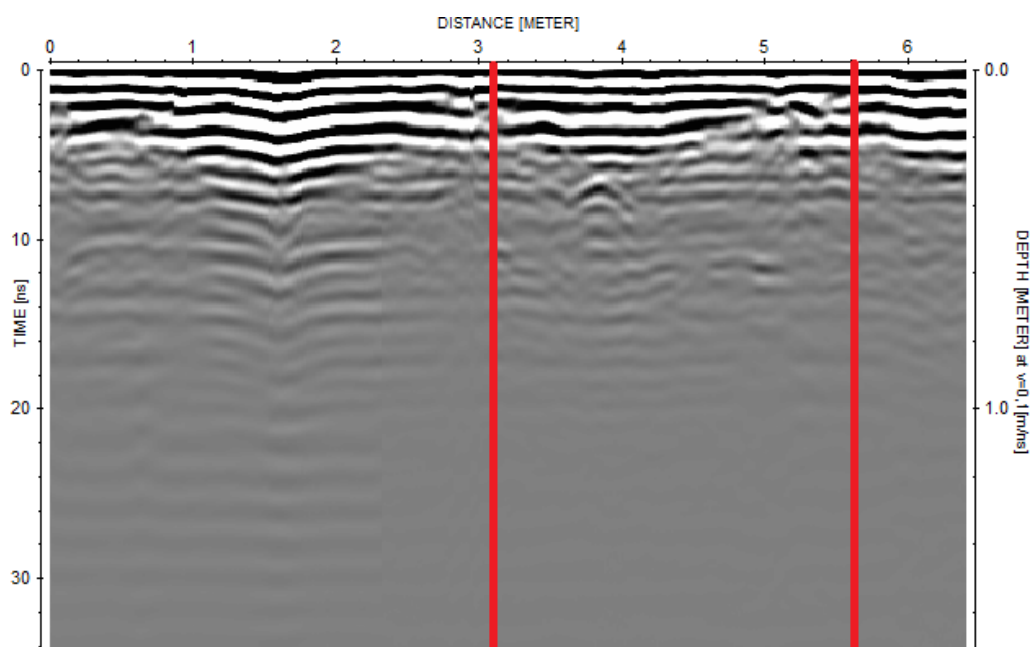
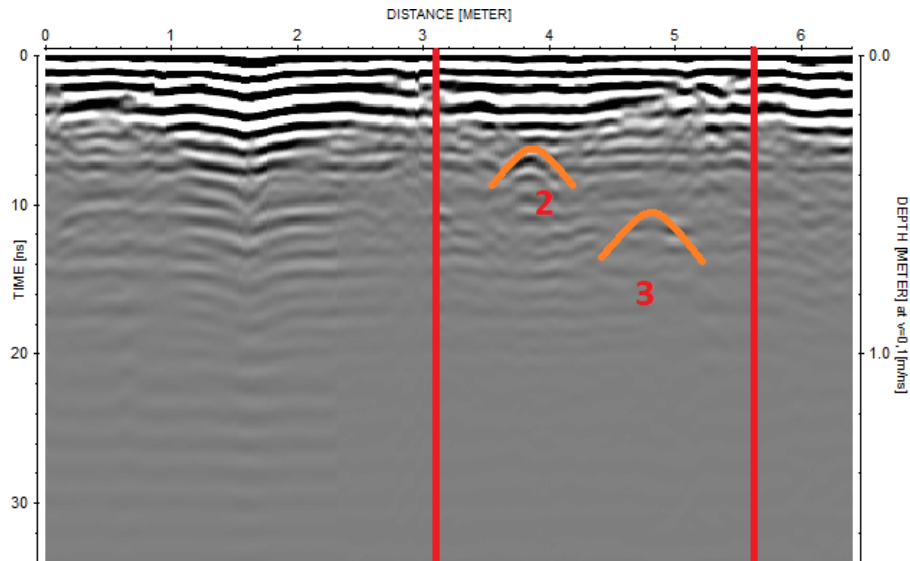


Figura 15. Determinação da velocidade do pulso no solo em P4 com a antena de 450 MHz e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.

No radargrama obtido com a antena de 750 MHz foi possível identificar duas hipérbolas que demarcam as segunda e terceira transições (Figura 16). Só foi possível a identificação precisa das posições dessas barras por causa das anotações das suas posições em campo. Após ajustar a profundidade deste radargrama com a velocidade do pulso de 0,107 m/ns, percebe-se que uma possível camada guia da base do horizonte E (hipérbole 3) não aparece nesta imagem.



(a)



(b)

Figura 16. Radargramas do P4 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e demarcação da possível camada guia em amarelo.

Apesar de não haver a identificação de outras hipérboles, em especial a da primeira transição, a velocidade estimada do pulso de 0,107 m/ns possibilitou ajustar as profundidades de ambos os pontos de espalhamento (Figura 17).

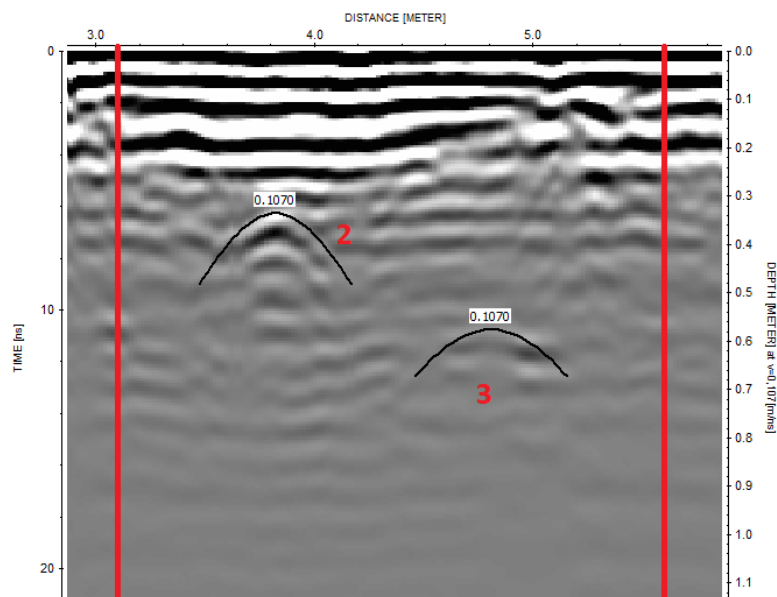


Figura 17. Determinação da velocidade do pulso no solo em P4 com a antena de 750 MHz.

O perfil P5 (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênico) foi descrito até maior profundidade em relação aos demais Planossolos, atingindo a marca de 1,70 m (Tabela 6; Figura 18). Este solo apresenta um aumento expressivo de argila de 13 vezes em Bt comparado com E5, marcando uma transição textural abrupta a 1,58 m de profundidade. Também houve um incremento na densidade do solo a partir do horizonte E3. Um aumento do valor de umidade é visto em E4, E5 e Bt, podendo ser decorrente do acúmulo de água em maiores profundidades. Em relação à parte química, um aumento nos valores de Al + H e alumínio é visto em E5.

Tabela 8. Caracterização morfológica, física e química do perfil P5.

P5 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênico										
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA										
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)	
		Areia	Arg.				Macro	Micro		
A	0-9	913	31	5YR 4/1	1,58	2,62	38,8	23,5	1,4	
E1	9-24	910	18	7,5YR4/2	1,42	2,63	35,3	16,9	2,8	
E2	24-38	922	17	7,5YR4/2	1,38	2,60	32,1	16,6	2,0	
E3	38-116	930	17	10YR 5/2	1,61	2,63	25,7	15,9	0,9	
E4	116-145	875	40	10YR 5/2	1,75	2,60	22,5	17,5	3,1	
E5	145-158	717	20	10YR 5/3	1,78	2,56	15,3	31,5	6,1	
Bt	158-172 ⁺	621	267	10YR 5/2	1,74	2,54	15,3	37,1	4,2	

ANÁLISE QUÍMICA										
Hor.	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	Corg
	----- cmolc / dm ³ -----								--- % ---	
A	0,03	1,4	0,8	0,14	2,8	0,0	2,37	5,17	46	1,4
E1	0,03	1,0	0,5	0,05	1,5	0,0	1,57	3,07	51	6,9
E2	0,03	1,0	1,0	0,07	1,1	0,0	2,09	3,19	66	6,9
E3	0,02	0,7	0,7	0,01	0,6	0,0	1,44	2,04	71	1,4
E4	0,03	0,7	0,6	0,02	0,7	0,0	1,36	2,06	66	1,8
E5	0,05	1,0	0,9	0,06	4,7	1,1	2,02	6,72	30	2,4
Bt	0,05	2,0	0,7	0,08	6,2	1,4	2,83	9,03	31	2,9

Legenda: **Hor.** = Horizonte; **Profund.** = Profundidade; **Gran.** = Granulometria; **Arg.** = Argila; **Ds** = Densidade do solo; **Dp** = Densidade da partícula; **Ug** = Umidade gravimétrica; **S** = Soma de bases trocáveis; **T** = Capacidade de troca de cátions; **V** = Percentagem de saturação por bases; **Corg** = Carbono orgânico total.

**Figura 18.** Disposição das barras de ferro no P5.

O radargrama da antena de 450 MHz deste solo apresentou hipérboles que demarcam as primeiras quatro transições entre horizontes. Neste radargrama, utilizou-se a velocidade do pulso estimada de 0,11 m/ns para ajustar um modelo de profundidade geral. A transição do horizonte E3 para o horizonte E4 (hipérbole 4), a 1,16 m de profundidade, apresenta baixa nitidez (Figura 19). Além disso, não foi possível identificar uma camada guia associada à base do horizonte E a 1,58 m, apesar de haver um aumento em argila de 13 vezes de E5 para Bt

(transição 5). Os valores de umidade estão baixos, principalmente quando comparados aos outros Planossolos descritos neste trabalho, o que favorece uma maior resolução do imageamento do solo em profundidade. Por outro lado, os parâmetros de densidade do solo, densidade da partícula e porosidades são parecidos entre os perfis de Planossolo, especialmente entre os horizontes E. Dessa forma, especula-se que o fator que está impedindo a identificação das hipérboles em profundidade é a limitação do alcance da antena.

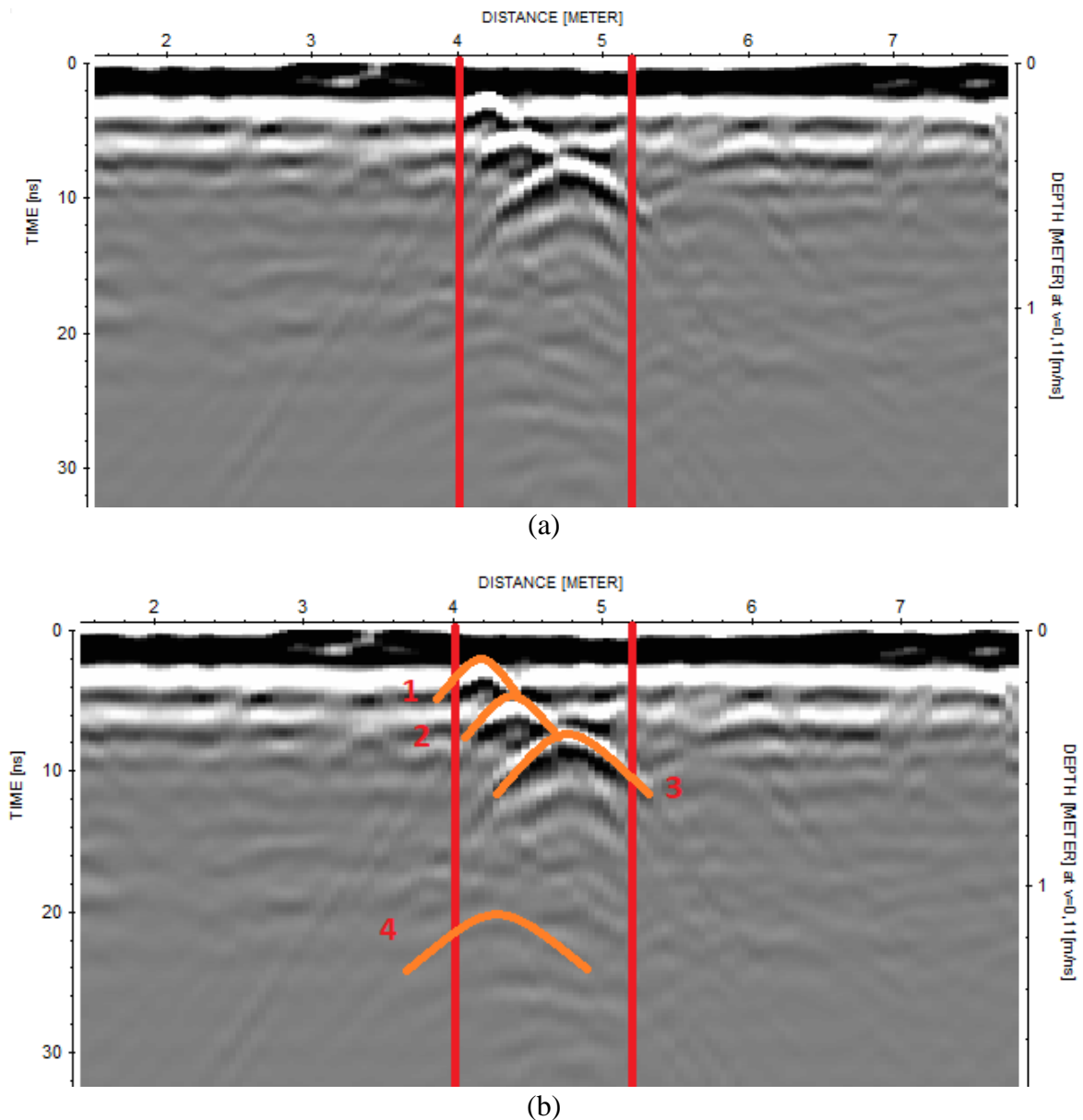
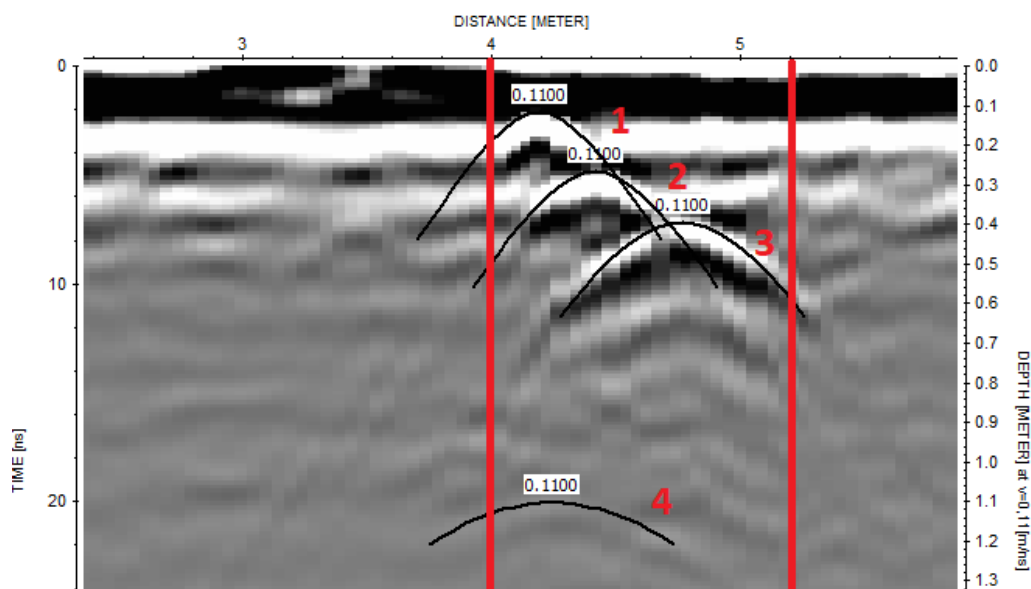


Figura 19. Radargramas do P5 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja.

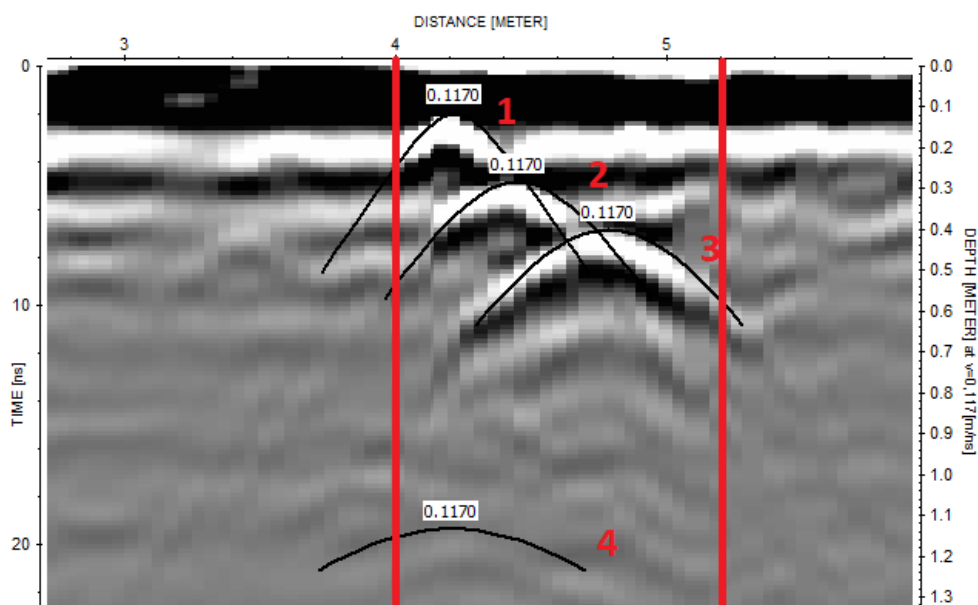
Porsani (1999) apud Barros Júnior (2011) estipulou uma profundidade de alcance média de 2 m para uma antena com frequência de 400 MHz. Neste caso, como a antena utilizada tem frequência de 450 MHz, o alcance tem que ser, em teoria, menor. Além disso, o radargrama apresenta menor nitidez à medida em que se imageia mais profundamente o solo (devido à maior interação do pulso emitido pela antena com o meio) quando comparado com

a antena 400 MHz. Assim, este é um primeiro indício que a antena de 450 MHz possui um alcance menor do que 1,5 m nas condições em que foram feitas as imagens.

Apesar da profundidade desse radargrama ser ajustada a partir da velocidade de 0,11 m/ns, apenas as primeiras três hipérbolas foram aferidas com precisão (Figura 20a), enquanto que a quarta hipérbole foi ajustada utilizando uma segunda velocidade medida de 0,117 m/ns (Figura 20b). O desvio da última transição pode ser resultado do ruído na imagem em profundidade maior que 1 m (Aguiar, 2005).



(a)



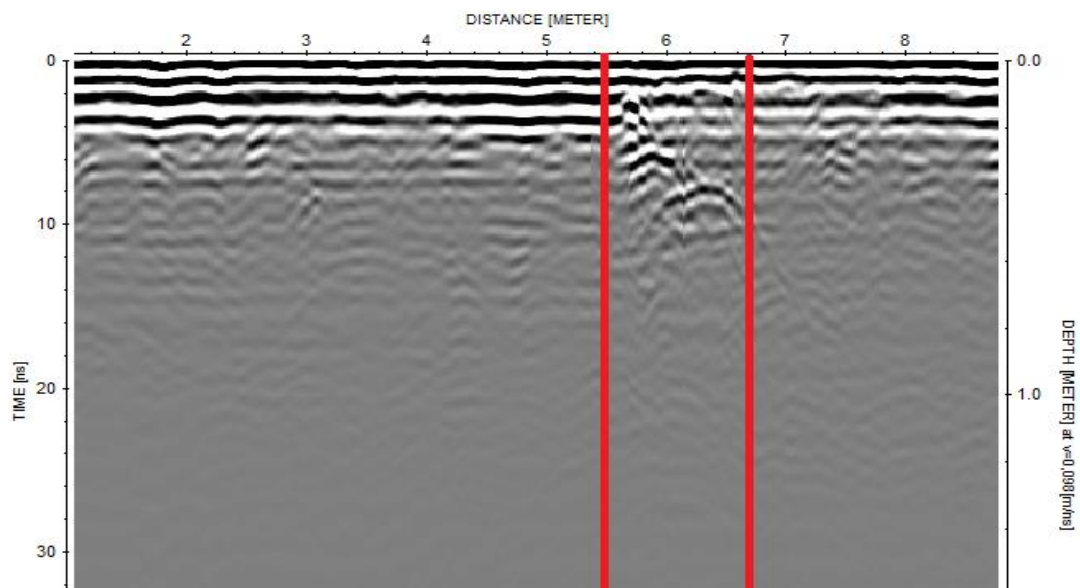
(b)

Figura 20. Determinação da velocidade do pulso no solo em P5 com a antena de 450 MHz. Em (a) a velocidade foi ajustada para as primeiras três transições. Em (b) foi feito o ajuste para a quarta transição.

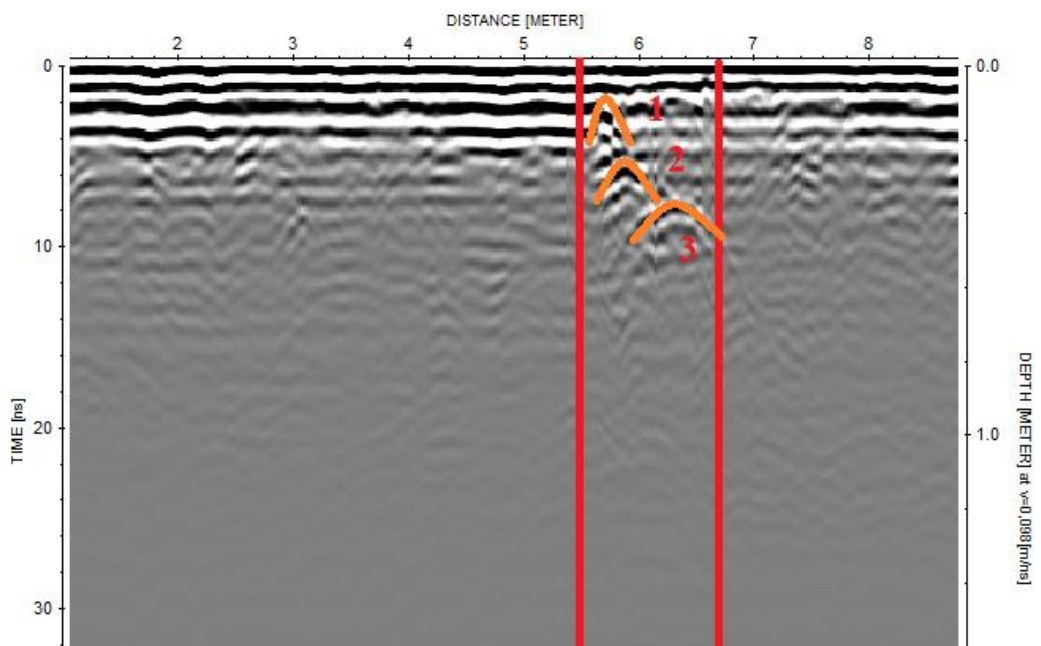
No caso do radargrama da antena de 750 MHz, apenas as primeiras três transições puderam ser identificadas (Figura 21). O alcance desta antena limitou a detecção das barras de ferro somente até a transição a 38 cm. Nesse perfil, a antena de 450 MHz mostrou ser útil na

identificação de barras de ferro a uma profundidade próxima de 1,16 m, enquanto que a antena de 750 MHz apresentou um limite de detecção acima da transição E3-E4 a 116 cm. Ou seja, nenhuma das antenas possibilitou enxergar a transição textural abrupta E5-Bt a 158 cm, mesmo em condições de horizontes de textura arenosa com baixos valores de umidade.

As velocidades neste solo foram diferentes ao longo do perfil. Para as duas primeiras transições, a velocidade estimada do pulso no solo foi de 0,0980 m/ns (Figuras 21 e 22a), enquanto que a velocidade na terceira hipérbole foi de 0,1080 m/ns (Figura 22b). Como o radargrama deste perfil não apresentou qualquer característica distinta ao longo da imagem, utilizou-se a velocidade de 0,0980 m/ns para estimar a profundidade geral da Figura 21 por ajustar mais transições no radargrama.

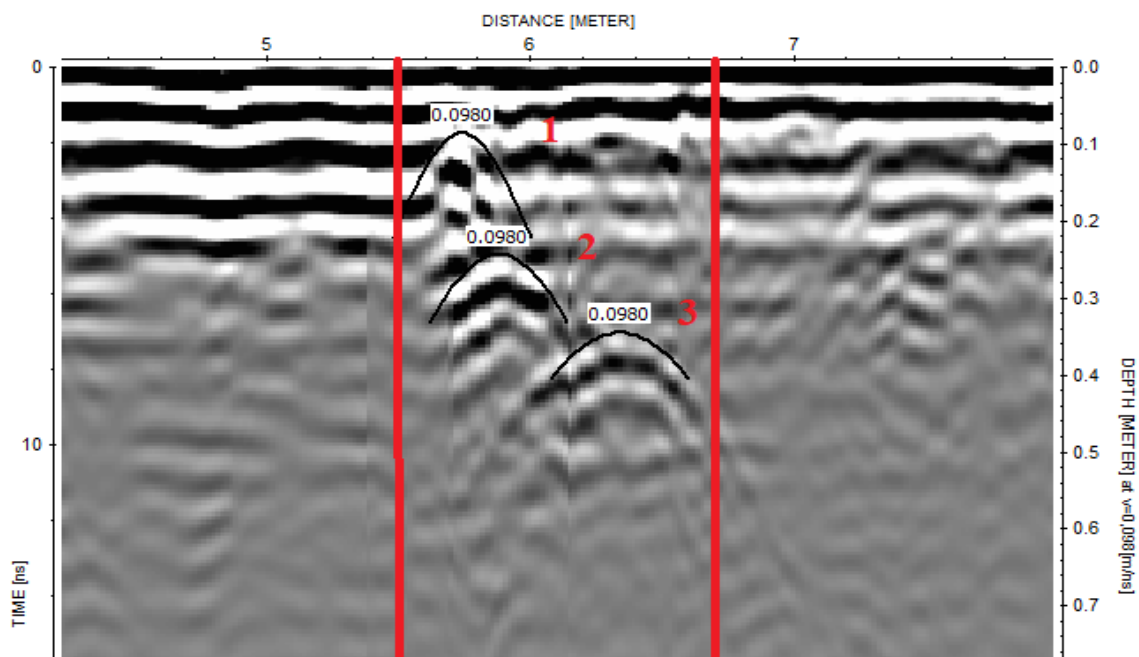


(a)

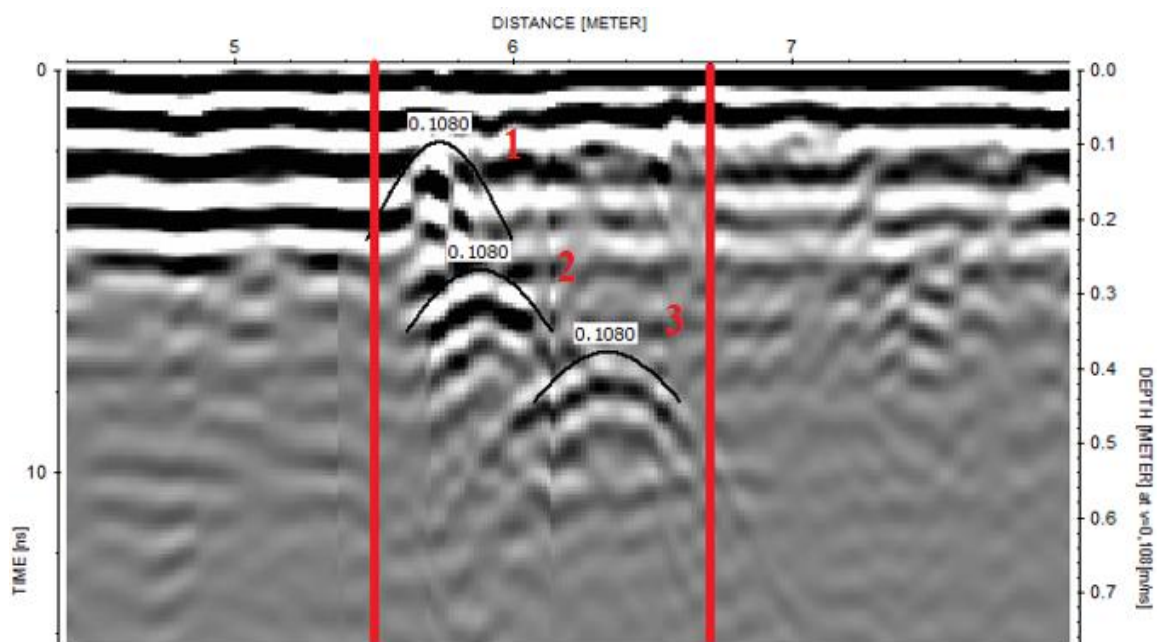


(b)

Figura 21. Radargramas do P5 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja



(a)



(b)

Figura 22. Determinação da velocidade do pulso no solo em P5 com a antena de 750 MHz. Em (a) a velocidade foi ajustada para as primeiras duas transições. Em (b) foi feito o ajuste para a terceira transição.

O perfil P6 (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico) apresenta uma mudança textural abrupta a 44 cm de profundidade, marcando a passagem do horizonte E para o Btg1, com um aumento de cerca de 3 vezes de argila (Tabela 7; Figura 23). Houve um aumento na densidade do solo a partir do horizonte E, a qual se manteve similar em profundidade.

Tabela 9. Caracterização morfológica, física e química do perfil P6.

P6 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico										
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA										
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor Úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)	
		Areia	Arg.				Macro	Micro		
A	0-13	762	50	7,5YR 3/1	1,39	2,50	33,9	19,22	4,7	
AE	13-32	884	49	10YR 3/2	1,47	2,55	32,8	21,4	3,1	
E	32-44	878	45	10YR 4/2	1,62	2,63	29,4	18,3	4,1	
Btg1	44-66	703	216	10YR 4/2	1,58	2,57	15,2	32,5	12,3	
Btg2	66-110	376	398	10YR 5/2	1,56	2,49	19,7	18,3	16,2	
Cg	110-120 ⁺	508	365	2,5Y 6/3	1,50	2,46	14,8	36,2	14,6	

ANÁLISE QUÍMICA										
Hor.	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V (%)	Corg g/kg
A	0,17	2,3	1,7	0,11	8,4	0,2	4,28	12,68	34	5,7
AE	0,04	1,0	1,0	0,02	3,7	0,4	2,42	5,76	36	2,6
E	0,04	1,1	1,0	0,01	2,1	0,5	2,15	4,25	51	6,2
Btg1	0,25	1,6	0,7	0,01	5,8	1,7	2,56	8,36	31	6,0
Btg2	0,79	4,7	4,6	0,04	14,4	5,4	10,13	24,53	41	6,5
Cg	0,97	6,5	6,3	0,04	14,2	6,2	13,81	28,01	49	3,9

Legenda: Hor. = Horizonte; Profund. = Profundidade; Gran. = Granulometria; Arg. = Argila; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade da partícula; Ug = Umidade gravimétrica; S = Soma de bases trocáveis; T = Capacidade de troca de cátions; V = Percentagem de saturação por bases; Corg = Carbono orgânico total.

Os valores mais altos de umidade neste solo, apesar das condições texturais serem próximas aos dos demais Planossolos, podem ser explicados pela localização do perfil em uma parte mais baixa da paisagem proporcionando um acúmulo de água no solo. Porém, da mesma forma que os demais, o aumento de umidade em Btg1 é condizente com o aumento na quantidade de argila deste horizonte quando comparado ao horizonte E. Quanto aos atributos químicos, percebe-se um aumento, principalmente de Btg1 para Btg2, nos teores de H+Al, Ca, Na e Mg, o que favorece um aumento da condutividade do pulso eletromagnético no horizonte Btg2.

**Figura 23.** Disposição das barras de ferro no P6.

Para o radargrama do P6, três barras de ferro puderam ser identificadas com dificuldade no radargrama de 450 MHz, sendo que as transições discriminadas são a primeira, terceira e quarta transições (Figura 24). O modelo de profundidade para o radargrama foi ajustado utilizando a velocidade de 0,10 m/ns. Essa má nitidez pode ser característica dos

valores mais altos de H +Al e de umidade presentes ao longo do perfil, que potencializa a atenuação do sinal à medida em que o pulso eletromagnético alcança regiões mais profundas do solo (Aguiar, 2015; Moreira & Dourado, 2007). Isso porque a combinação de maior umidade com maior concentração de íons na solução torna o meio mais condutivo, ou seja, aumenta a sua constante K. Dessa forma, a diferença do valor da constante K do solo e da barra pode diminuir, podendo suprimir a visualização das hipérbolas das barras de ferro. Ainda assim, é possível identificar uma suposta camada guia da base do horizonte E (demarcada em amarelo na altura da hipérbole 3) dentro da seção do perfil, onde ocorre um aumento importante de argila de E para Btg1 (Figura 24b).

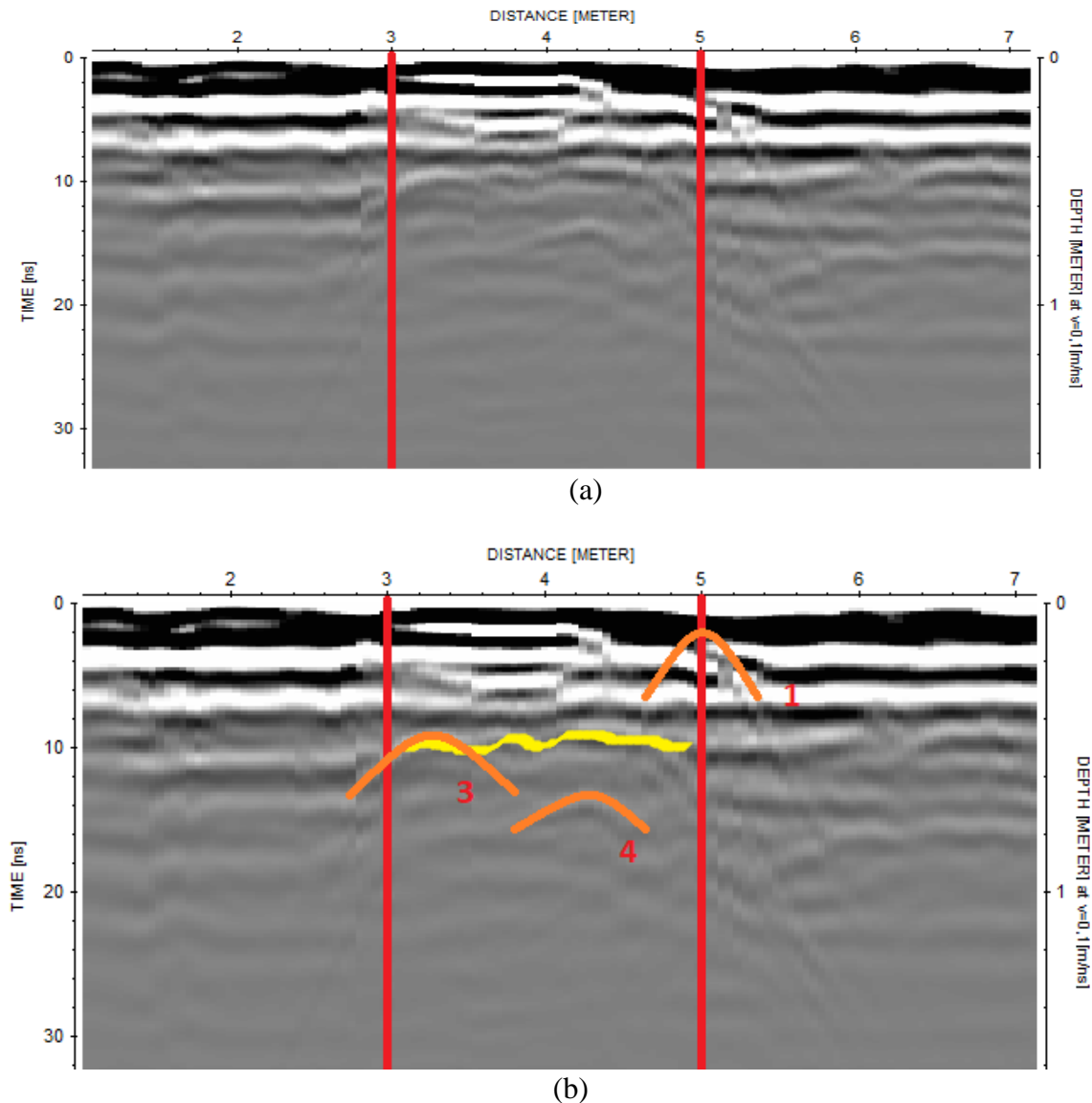


Figura 24. Radargramas do P6 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo.

No caso da hipérbole 4, que demarca a transição de Btg1 para Btg2 a 66 cm, quando comparada com os resultados vistos em P2, especula-se que a sua visualização foi possível devido aos menores teores de argila neste solo, associada à menor profundidade da transição (66 cm).

O valor da velocidade do pulso eletromagnético de 0,10 m/ns foi usado para conversão do eixo Y para valores de profundidade (Figura 25), o que gerou boa concordância entre as posições das hipérbolas nos radargramas e as profundidades das transições desse perfil observadas no campo. Da mesma forma, a camada guia foi posicionada exatamente na posição da base do horizonte E dentro do perfil (em amarelo) por estar na mesma profundidade.

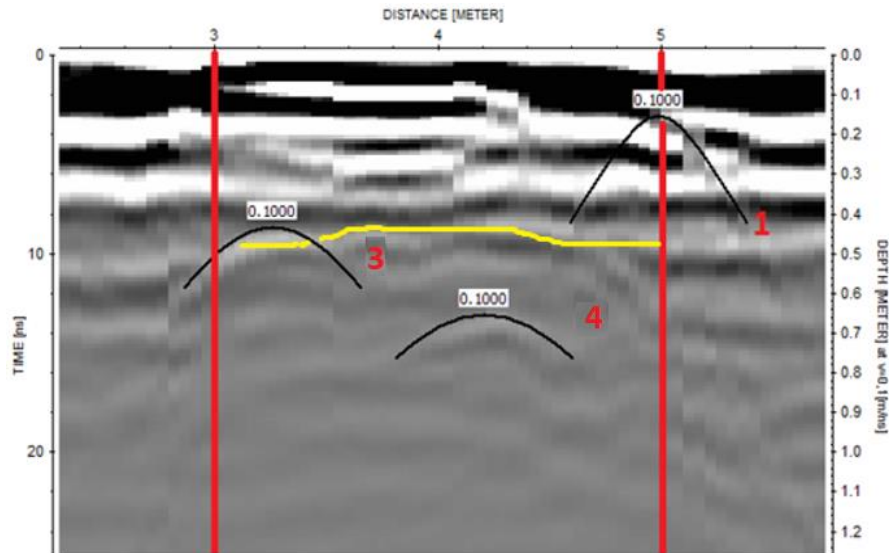
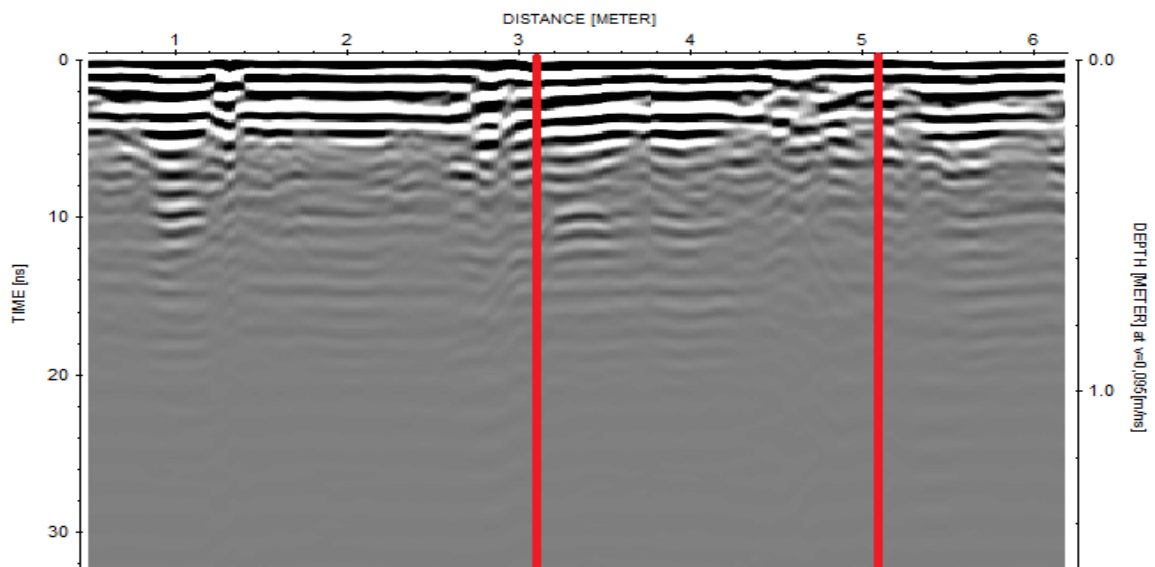
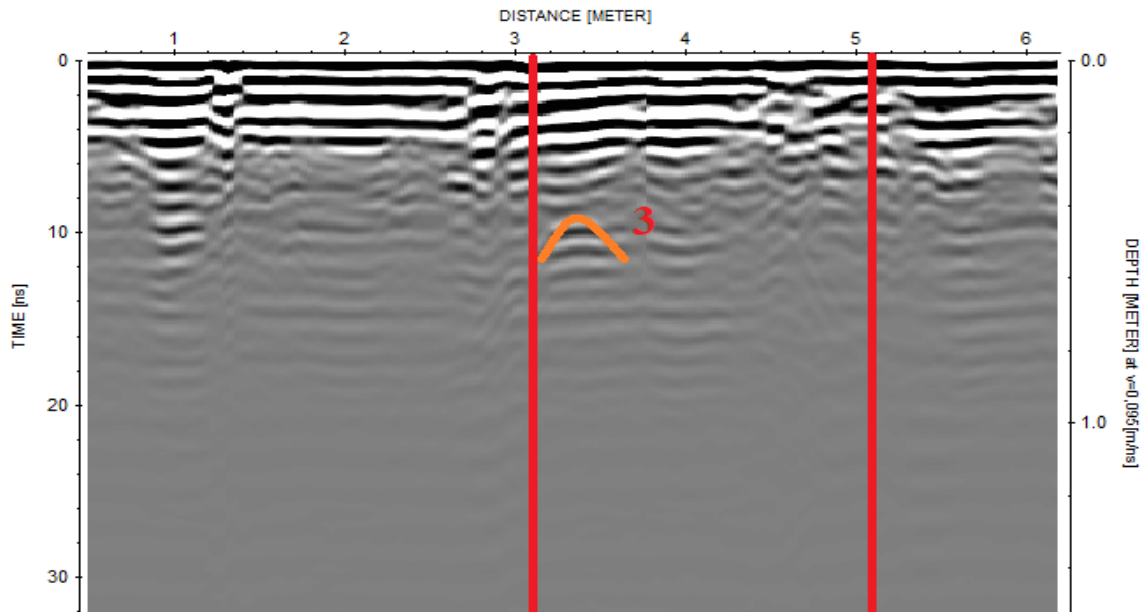


Figura 25. Determinação da velocidade do pulso no solo em P6 com a antena de 450 MHz e demarcação da camada guia referente à base do horizonte E em amarelo.

No caso da antena de 750 MHz, apenas uma hipérbole pôde ser vista no radargrama do P6, demarcando a terceira transição, com uma nitidez inferior a do radargrama gerado com a antena de 450 MHz. Seu modelo de profundidade foi ajustado a partir da velocidade do pulso de 0,095 m/ns (Figura 26). Percebe-se que, mesmo apresentando profundidade menor que a última barra vista no P2 a 69 cm (Figura 11), este perfil possui menor nitidez desde a superfície, incluindo a supressão de uma possível camada guia. Pondera-se que, neste caso, a menor nitidez está associada à maior umidade e maiores teores de íons trocáveis nos horizontes do P6 (Tabelas 4 e 7).



(a)



(b)

Figura 26. Radargramas do P6 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja.

A velocidade do pulso de 0,095 m/ns (Figura 27) ajustou a posição da terceira hipérbole. Porém, como não houve a demarcação de outras hipérboles, não foi possível identificar os demais limites dos horizontes deste solo no radargrama, o que impede de aferir se este valor é coerente para as outras seções do radargrama dentro do perfil.

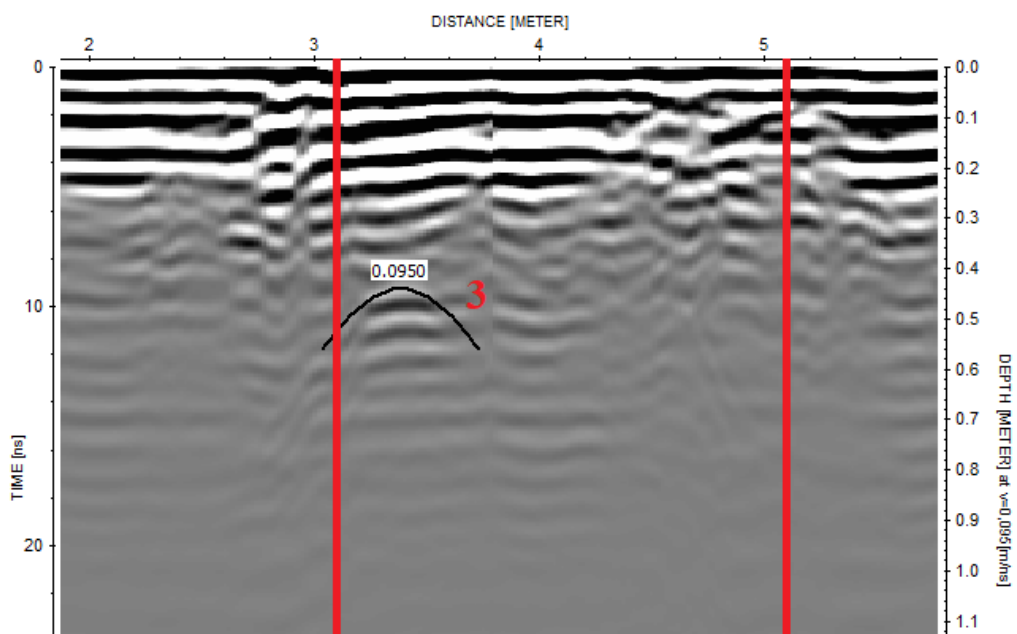


Figura 27. Determinação da velocidade do pulso no solo em P6 com a antena de 750 MHz.

No perfil P7 (PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico), diferente dos demais Planossolos, não houve a característica típica da mudança textural abrupta do horizonte E para o Bt, sendo aqui representado pela passagem de E3 para BE (Tabela 8; Figura 28). Por outro lado, ocorreram aumentos significativos na densidade do solo (aumento de $0,13 \text{ Mg m}^{-3}$),

além de um aumento absoluto de 10% na porosidade total em BE em relação a E3, marcando duas mudanças físicas importantes neste solo.

Os valores de umidade são coerentes com os valores de argila e a posição do horizonte dentro do perfil. Nos primeiros dois horizontes, os valores mais altos refletem a matéria orgânica que retém umidade, enquanto que em AE e E1 os valores mais baixos são resultados dos menores teores de argila nestes horizontes.

Tabela 10. Caracterização morfológica, física e química do perfil P7.

P7 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico										
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA										
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)	
		Areia	Arg.				Macro	Micro		
A1	0-7	807	74	10YR 3/2	1,33	2,45	42,2	17,6	2,9	
A2	7-16	865	45	10YR 3/2	1,51	2,54	37,9	19,1	2,5	
AE	16-26	859	34	10YR 4/3	1,35	2,44	32,1	23,0	1,2	
E1	26-41	851	41	2,5Y 4/2	1,49	2,57	29,2	21,0	1,1	
E2	41-52	857	43	2,5Y 4/4	1,48	2,57	28,9	19,7	2,7	
E3	52-67	819	85	2,5Y 4/4	1,44	2,56	18,2	22,3	5,7	
BE	67-97	759	118	10YR 4/4	1,57	2,56	21,5	30,8	5,0	
Bt1	97-127	675	247	10YR 5/2	1,45	2,59	21,0	32,5	4,8	
Bt2	127-160 ⁺	693	261	10YR 5/3	1,54	2,62	19,7	31,2	4,1	

ANÁLISE QUÍMICA										
Hor.	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	Corg g/kg
	----- cmolc / dm ³ -----								-- % --	
A1	0,05	2,6	2,4	0,09	6,9	0,3	5,14	12,04	43	12,7
A2	0,05	1,1	1,0	0,05	6,0	0,3	2,20	8,20	27	5,9
AE	0,05	1,0	0,8	0,02	4,9	0,3	1,88	6,78	28	5,1
E1	0,04	1,0	0,7	0,01	2,4	0,2	1,75	4,15	42	0,5
E2	0,04	0,9	0,8	0,01	1,9	0,4	1,75	3,65	48	6,8
E3	0,03	1,0	0,8	0,01	2,4	0,7	1,84	4,24	43	1,1
BE	0,05	1,4	1,1	0,01	4,7	0,9	2,56	7,26	35	1,3
Bt1	0,07	1,1	1,0	0,01	5,1	1,5	2,18	7,28	30	1,7
Bt2	0,06	1,3	1,0	0,01	4,3	1,2	2,37	6,67	35	3,9

Legenda: **Hor.** = Horizonte; **Profund.** = Profundidade; **Gran.** = Granulometria; **Arg.** = Argila; **Ds** = Densidade do solo; **Dp** = Densidade da partícula; **Ug** = Umidade gravimétrica; **S** = Soma de bases trocáveis; **T** = Capacidade de troca de cátions; **V** = Percentagem de saturação por bases; **Corg** = Carbono orgânico total.

Os dados químicos deste solo apresentam destaque para os maiores valores de Ca, Mg e H+Al no BE em comparação ao E3, marcando essa transição de horizontes, o que pode favorecer, junto com os parâmetros físicos, o aparecimento de alguma feição no radargrama que possa demarcar uma mudança no padrão do pulso eletromagnético entre esses dois horizontes (Heiniger et al., 2003).



Figura 28. Disposição das barras de ferro no P7.

No radargrama com a antena de 450 MHz deste perfil foram identificadas as primeiras quatro transições, sendo todos esses horizontes de classe textural arenosa, tendo o modelo de profundidade sido ajustado a partir da velocidade do pulso de 0,105 m/ns (Figura 29). Diferente do P2, a assinatura da barra na transição do horizonte E para o horizonte BE (hipérbole 5) apresentou má nitidez, estando ambas as barras (em P2 e P7) praticamente na mesma profundidade (a 69 e 67 cm, respectivamente). Possíveis explicações incluem a maior concentração de H+Al neste solo quando comparado com o P2, além da presença de mosqueado ao longo do perfil P7, com maior quantidade no E3 (De Benedetto et al., 2010; Moreira & Dourado, 2007). Percebe-se ainda a ocorrência de uma feição no radargrama que pode ser uma fraca camada guia (demarcada em amarelo na Figura 24b), representando a base do horizonte E3.

Essa pequena distinção da transição do horizonte E3 para o BE pode ter sido ocasionada pelos valores baixos de argila e umidade nos dois horizontes (Tabela 8). Com o valores de argila e umidade semelhantes, não houve mudança significativa no valor K de E3 para BE, o que não possibilitou o aparecimento de uma feição característica associada à base do horizonte E neste radargrama, tal como ocorreram nos radargramas dos perfis P2, P4 e P6 obtidos com a antena de 450 MHz. Porém, ainda que fracamente, a antena 450 MHz parece conseguir detectar mudança de outras propriedades físicas do solo, como porosidade total e densidade do solo, que ocorreram entre esses dois horizontes.

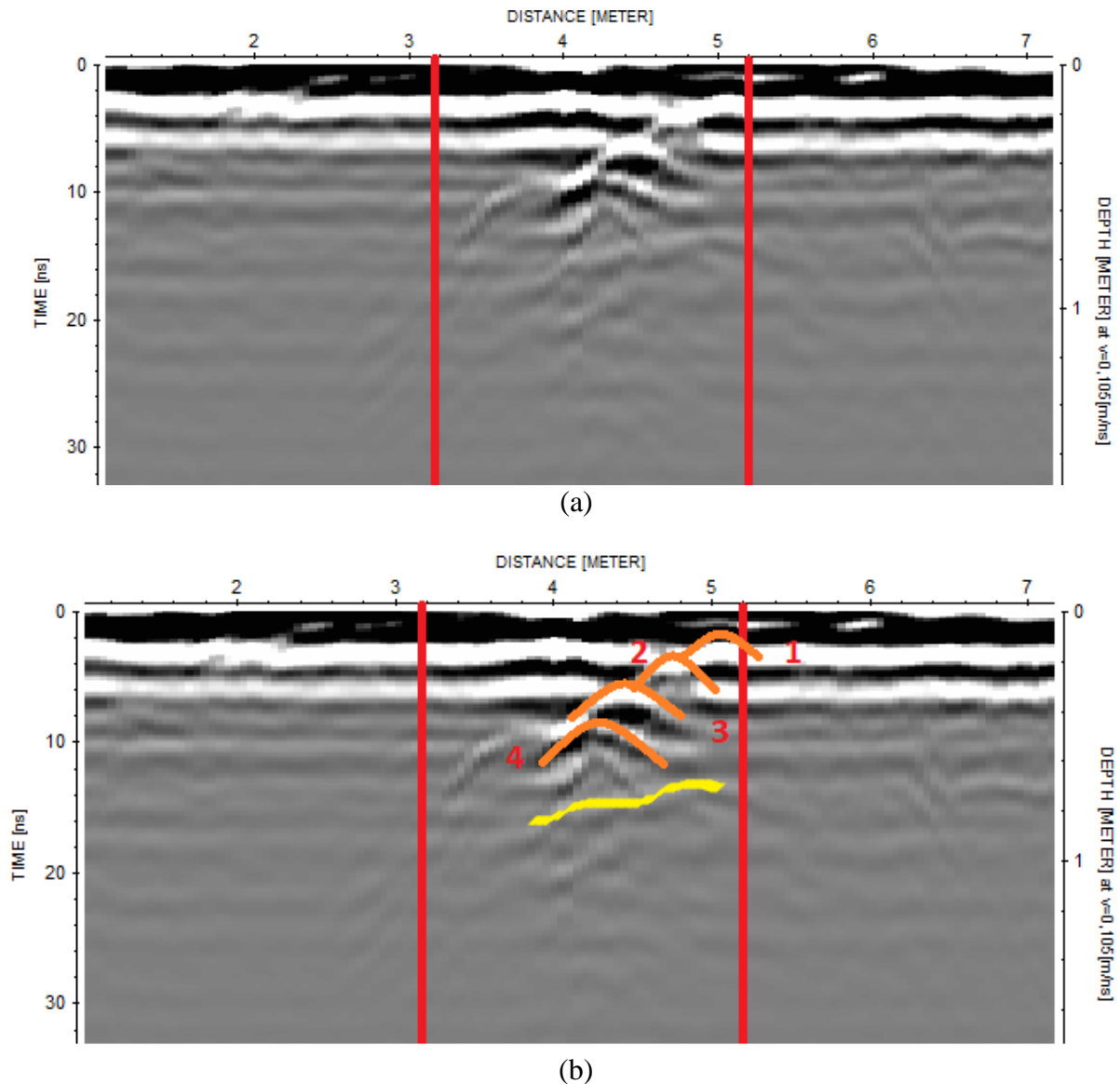


Figura 29. Radargramas do P7 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo.

Da mesma forma que o P5, apesar do modelo de profundidade geral ter sido feito a partir de uma única medida de velocidade, as velocidades do pulso nesse solo foram variáveis, sendo que para as primeiras três transições a velocidade foi 0,095 m/ns (Figura 30a), enquanto que na quarta transição a velocidade teve o valor de 0,105 m/ns (Figura 30b). Com este último valor, as primeiras três transições tiveram um aumento na profundidade de cerca de 3 cm em relação ao valor real medido no campo. Por outro lado, com a velocidade de 0,105 m/ns, a possível camada guia que marca a base do horizonte E (transição E3-BE) teve maior acurácia de posicionamento, na faixa próxima de 67 cm (em amarelo na Figura 30b). Sendo assim, utilizou-se essa última velocidade para ajustar a profundidade geral do radargrama do P7 com o intuito de ajustar a posição da camada guia à posição correta da base do horizonte E observada em campo.

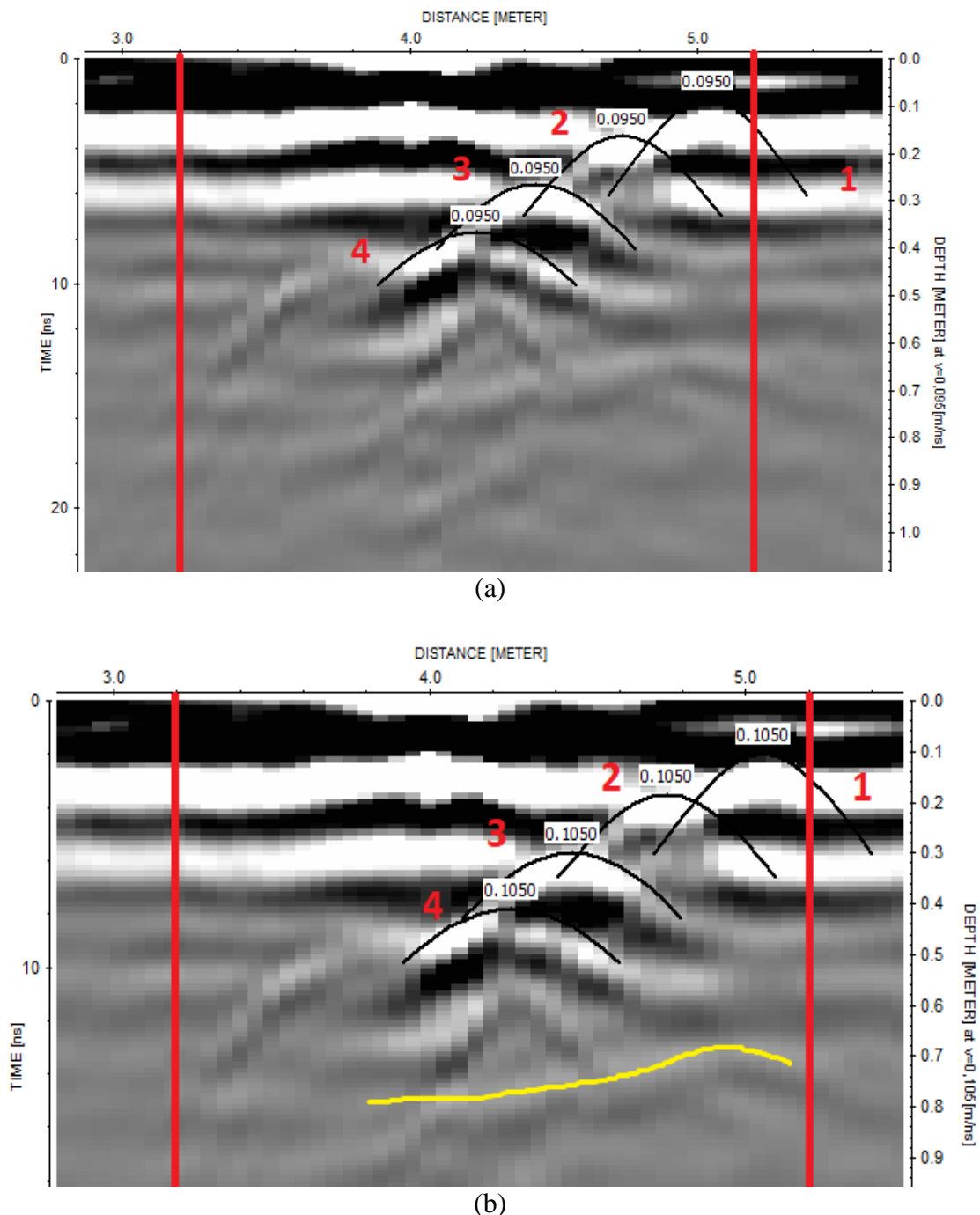
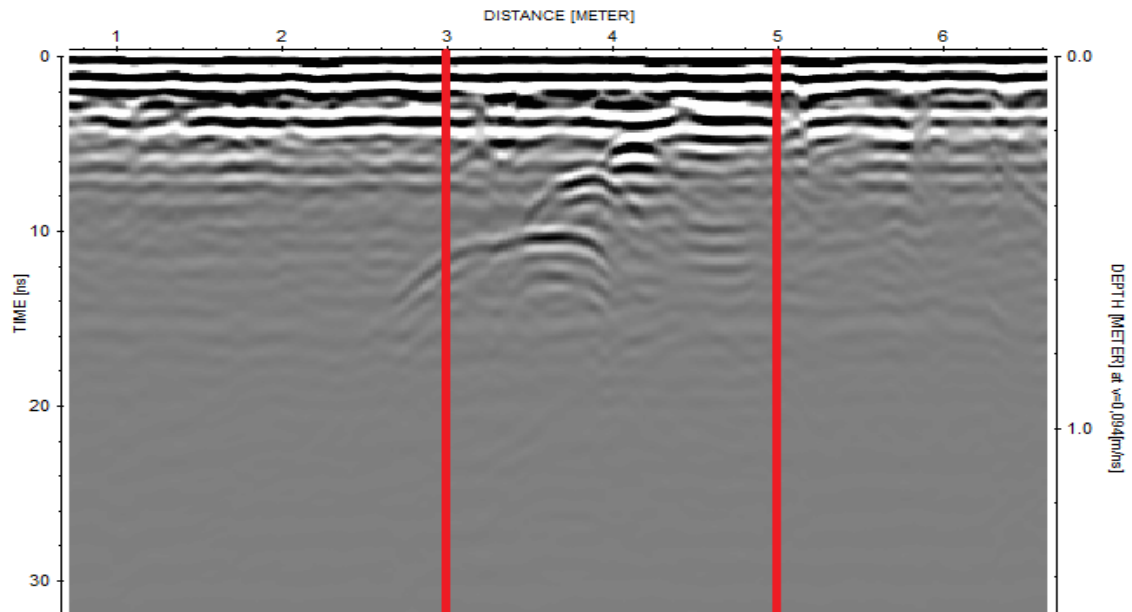
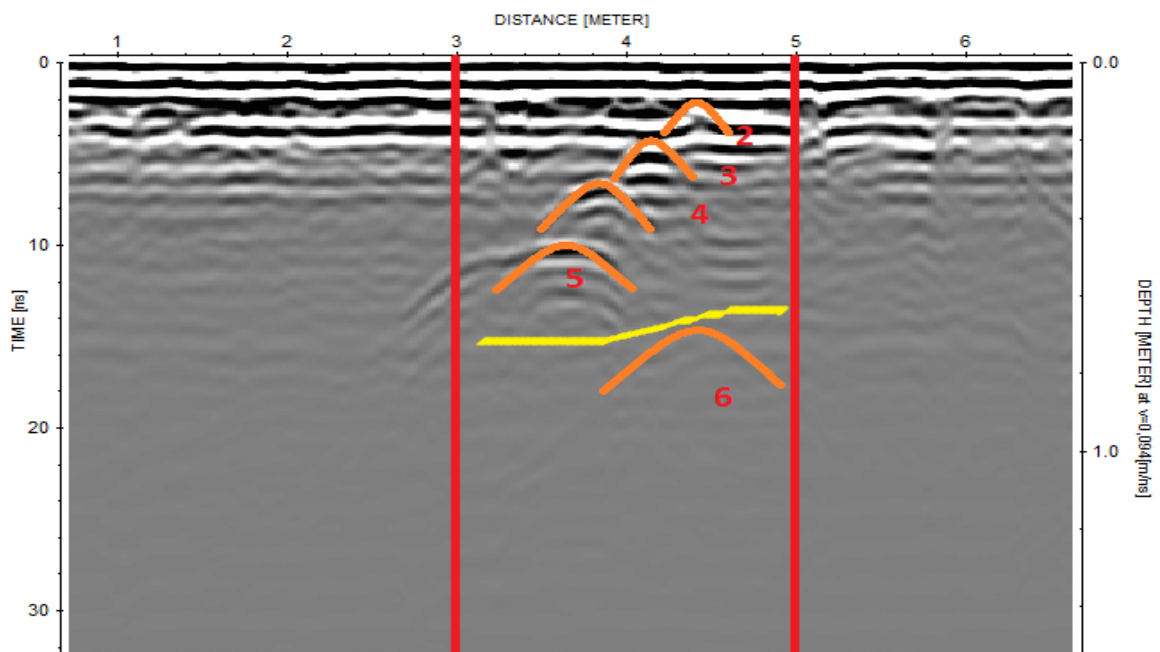


Figura 30. Determinação da velocidade do pulso no solo em P7 com a antena de 450 MHz. Em (a) a velocidade foi ajustada para as primeiras três transições. Em (b) foi feito o ajuste para a quarta transição e demarcação da camada guia em amarelo.

Diferindo da antena de 450 MHz, a antena de 750 MHz assinalou as barras que indicam da segunda à sexta transições, com destaque para uma possível camada guia da base do horizonte E3 (marcada em amarelo) transicionando para o horizonte BE (Figura 31). A profundidade foi ajustada com a velocidade de 0,094 m/ns. Neste caso, a alta frequência da antena pode ter possibilitado a detecção mais refinada na mudança da densidade do solo que ocorreu na profundidade de 67 cm.



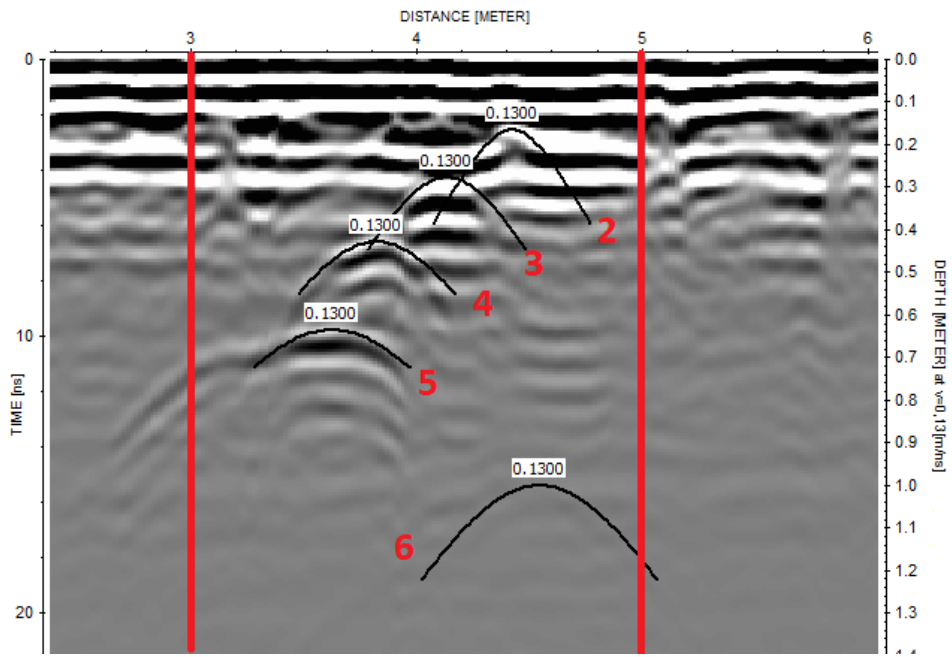
(a)



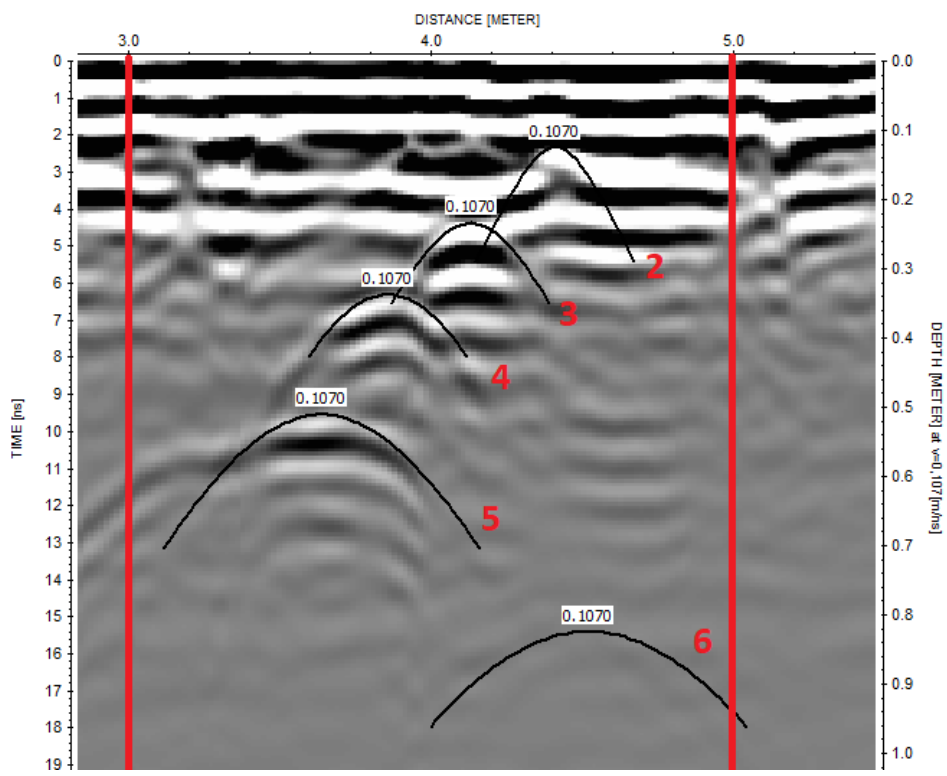
(b)

Figura 31. Radargramas do P7 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro em laranja e demarcação da possível camada guia da base do horizonte E em amarelo.

Da mesma forma que no caso anterior, as velocidades neste solo foram diferentes para as hipérboles visualizadas, havendo três velocidades para as quatro transições demarcadas. As hipérboles 2, 3 e 4 (Figura 32a) geraram a velocidade de 0,13 m/ns, que permitiu boa acurácia no posicionamento dos limites destes horizontes, enquanto que, a partir da hipérbole 4, a velocidade calculada foi de 0,107 m/ns (Figura 32b), e da hipérbole 6 foi de 0,094 m/ns (Figura 32c). Como esta última velocidade ajustou a profundidade da base do horizonte E, preferiu-se utilizá-la para o ajuste da profundidade geral do radargrama (Figura 32c).



(a)



(b)

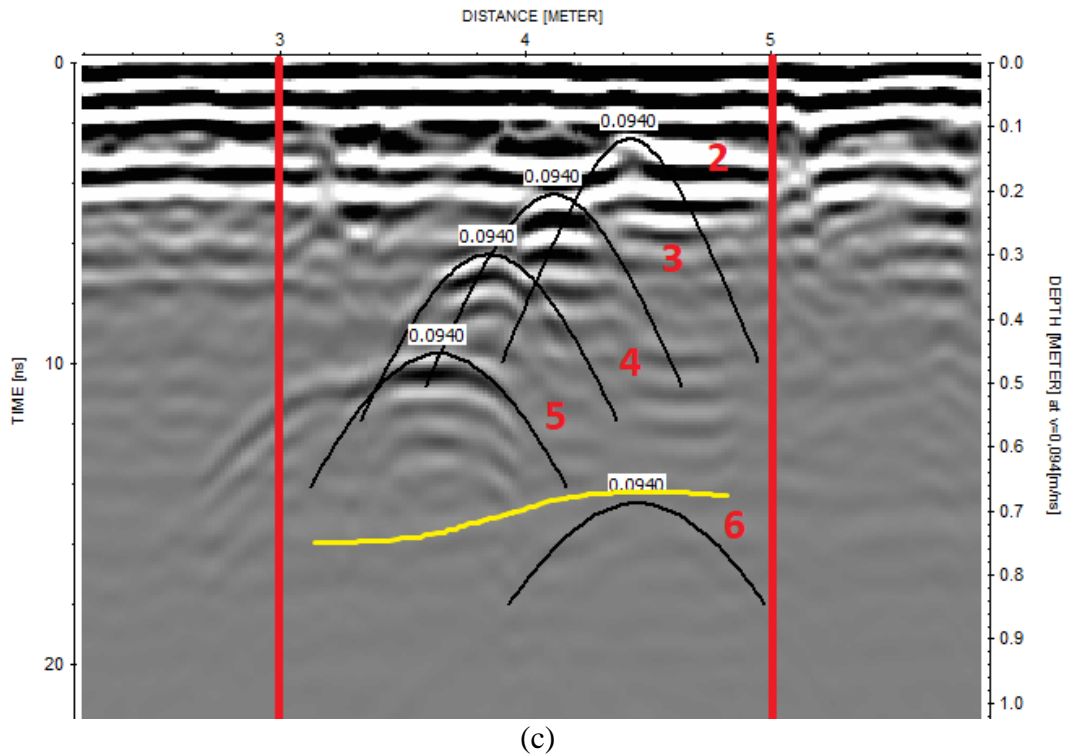


Figura 32. Determinação da velocidade do pulso no solo em P7 com a antena de 750 MHz. Em (a) foi feita a determinação para as hipérboles 2, 3 e 4. Em (b) para a hipérbole 5. Em (c) para a hipérbole 6 e demarcação da camada guia da base do horizonte E em amarelo.

Desta forma, a antena de 750 MHz não foi adequada para este solo para uma exploração em detalhe, assim como no caso do P6, pois, apesar de ter amostrado a base do horizonte E3 de forma mais nítida que no radargrama da antena de 450 MHz, as velocidades para os marcadores dos horizontes mostraram-se muito variáveis, podendo ser resultado do aumento do ruído em profundidade devido às características deste solo (Aguiar, 2015).

Analisando as hipérboles, percebe-se que as velocidades medidas nas barras posicionadas em horizontes arenosos mantiveram-se similares. Isso torna possível estipular uma velocidade média do pulso em horizontes arenosos, sendo o valor específico para o dia em que foi realizada a coleta com o GPR de 0,107 m/ns com a utilização da antena de 450 MHz. Ao se considerar esse valor de velocidade para o radargrama (transecto) abrangendo o P2, P5 e P6, é possível ter uma ideia do padrão das assinaturas das barras de ferro ao longo do transecto (Figura 33).

Ao verificar as profundidades das hipérboles das barras de ferro que identificam a transição do horizonte E para o horizonte seguinte (marcadas em azul nas Figuras 34a e 34c) no transecto, percebe-se que as medidas são muito próximas das medidas reais desses horizontes vistas em campo marcadas em verde. Além disso, na região que está inserido o P5 não mostra qualquer feição a 1,58 m de profundidade (marcado em amarelo) que indique a transição do horizonte E5 para o Bt como visto pelo radargrama individual deste perfil, corroborando que a antena possui um alcance menor que 1,50 m, mesmo em horizontes com textura arenosa e com baixos valores de umidade.

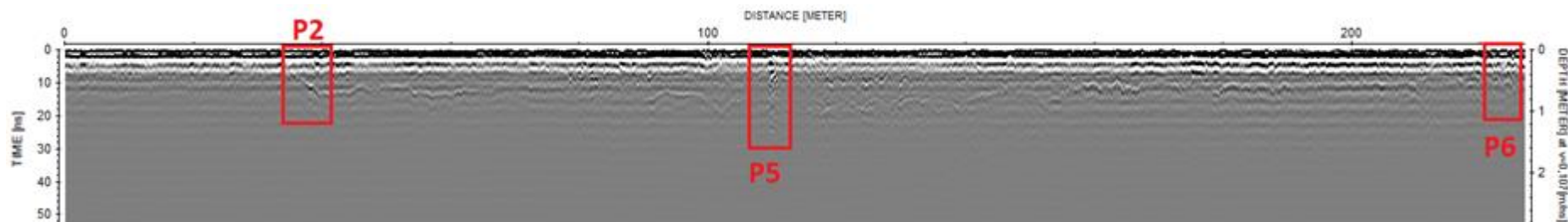


Figura 33. Radargrama do transecto que abrange os perfis P2, P5 e P6 delimitados nas caixas vermelhas.

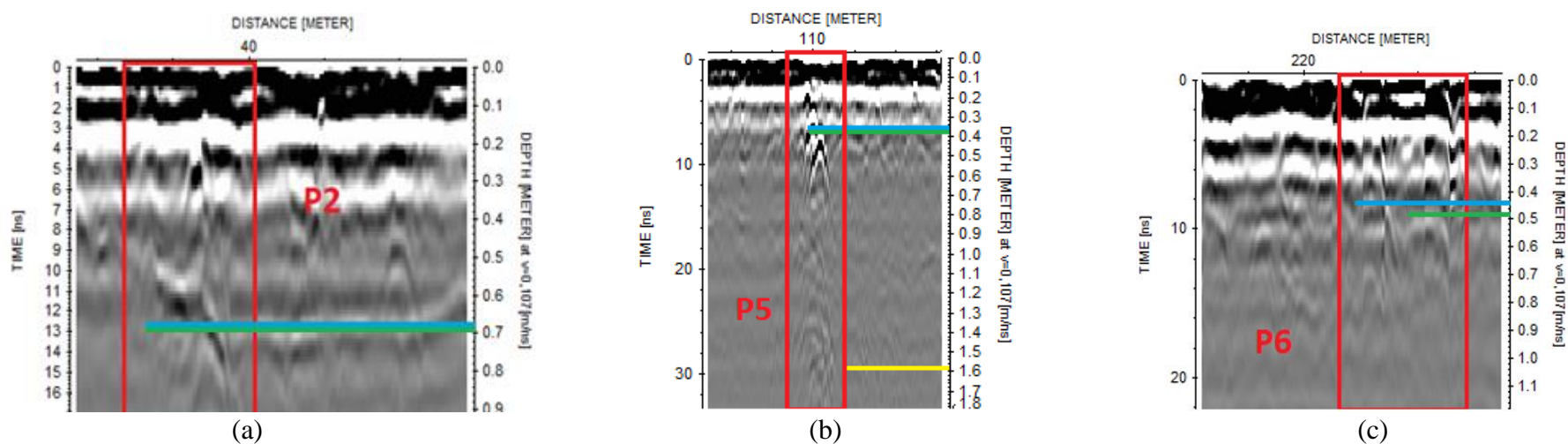


Figura 34. Aproximação em detalhe dos perfis do transecto. A barra em azul demarca em cada radargrama a hipérbole da barra de ferro mais profunda em cada perfil, enquanto que a barra verde representa a profundidade real vista em campo. Em (a) e (c) as barras verdes coincidem ou são próximas da profundidade real da base do horizonte E (P2 e P6). Em (b) a barra amarela representa a profundidade da base do horizonte E5 transicionando para Bt (P5).

Por outro lado, a base do horizonte E ficou bastante visível nos perfis em que há presença de mudança textural abrupta na profundidade menor que 0,80 m (P2, P4 e P6). No caso do P7, a demarcação do limite do horizonte E para o B foi pouco evidente, provavelmente porque a mudança textural abrupta não ocorreu entre estes horizontes, e porque os valores de umidade foram próximos entre os horizontes. As mudanças que ocorreram neste perfil foram nas propriedades físicas de porosidade e de densidade de E para B.

Outro aspecto relevante é que os radargramas não apresentaram um padrão específico para o horizonte A nos perfis estudados. As faixas pretas e brancas que estão no topo dos radargramas não representam, na maioria das vezes, esse primeiro horizonte. Isso foi concluído pela irregularidade do padrão dessas faixas nos radargramas comparando com a hipérbole da barra de ferro nesta transição após terem sido estipuladas as profundidades nos radargramas com ambas as antenas. Essa atenuação pode ter ocorrido por causa do carbono orgânico presente em maior quantidade neste horizonte. Como os colóides orgânicos possuem muitas cargas (mais que as argilas), isso favorece uma maior adsorção de íons, assim como a formação de agregados granulares que armazenam água nos microporos, propiciando maiores valores de umidade. Como resultado, há maior condutividade elétrica e a diminuição da diferença entre o valor K do meio e da barra, suprimindo a assinatura da barra de ferro no radargrama (Heiniger et al., 2003; Doolittle & Butnor, 2009).

4.2. Análise dos Radargramas dos Argissolos

Na área foram descritos dois solos classificados como ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (P3 e P9), um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico nitossólico (P10) e um ARGISSOLO AMARELO Eutrófico nitossólico (P8).

O perfil P3 (ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico) foi o único solo em que a barra de ferro não foi colocada na última transição do perfil (a 1,47 m). Os teores de argila desse solo são similares ao longo do perfil até a passagem para o horizonte Bt3 (Tabela 9; Figura 35), onde ocorre um acréscimo de argila de cerca de 230 g kg⁻¹, acompanhado de uma diminuição na densidade do solo e aumento de porosidade, o que pode ser explicado pela melhor agregação na estrutura do solo. A presença de agregados tem papel importante para o acúmulo de água no solo, pois estas estruturas possuem microporos que armazenam água de médio a longo prazo (Oades, 1984). Assim, os valores de umidade estão, em maioria, concordantes com os teores de argila neste solo. Para os atributos químicos, o maior destaque é para as concentrações mais altas de Ca e H+Al nos horizontes A e E.

Tabela 11. Caracterização morfológica, física e química do perfil P3.

P3 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico									
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA									
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)
		Areia	Arg.				Macro	Micro	
A	0-10	544	307	5YR 3/1	1,23	2,47	19,6	30,4	11,5
E	10-26	568	260	5YR 3/2	1,39	2,42	21,1	29,5	8,3
BA	26-48	486	349	5 YR 4/4	1,48	2,57	21,4	28,8	8,1
Bt1	48-65	482	396	2,5YR 3/6	1,57	2,54	17,3	29,3	AP
Bt2	65-86	421	421	2,5YR 3/6	1,40	2,59	19,5	29,3	11,3
Bt3	86-108	212	657	2,5 R 3/6	1,24	2,55	20,0	34,4	12,2
Bt4	108-147	112	779	2,5YR 4/6	1,27	2,65	15,2	40,9	5,7
Bt5	147-164 ⁺	81	624	2,5YR 4/6	1,37	2,67	15,6	39,9	AP

Continua...

Tabela 12. Caracterização morfológica, física e química do perfil P3. Continuação.

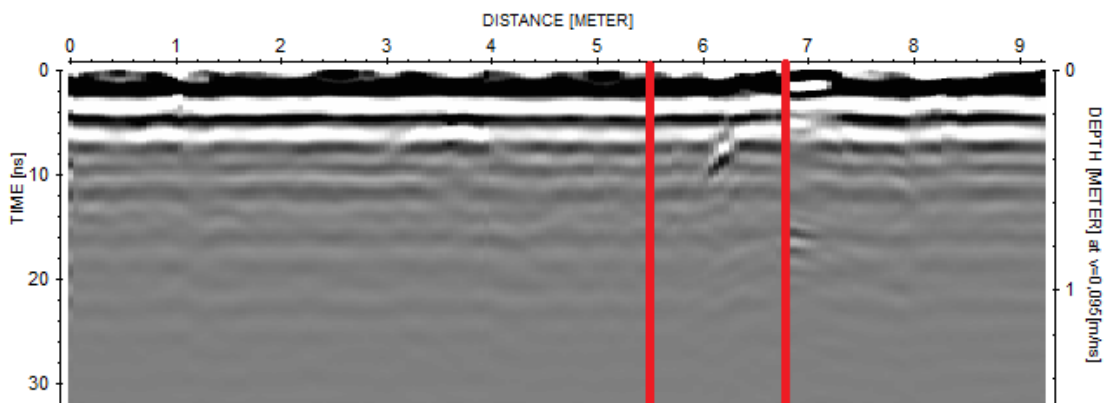
Hor.	ANÁLISE QUÍMICA									
	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	Corg
	----- cmolc / dm ³ -----									- %-
A	0,08	4,7	3,3	0,33	6,9	0,1	8,41	15,31	55	11,7
E	0,08	4,5	2,2	0,09	6,0	0,1	6,87	12,87	53	3,3
BA	0,08	3,4	2,3	0,03	4,1	0,0	5,81	9,91	59	9,8
Bt1	0,08	3,2	1,5	0,02	3,7	0,0	4,80	8,50	56	9,8
Bt2	0,08	3,5	1,0	0,02	3,0	0,0	4,60	7,60	61	9,7
Bt3	0,10	3,4	3,3	0,01	1,5	0,0	6,81	8,31	82	9,0
Bt4	0,08	3,6	2,0	0,02	2,2	0,0	5,70	7,90	72	9,4
Bt5	0,08	4,9	1,5	0,02	1,9	0,0	6,49	8,39	77	9,1

Legenda: **Hor.** = Horizonte; **Profund.** = Profundidade; **Gran.** = Granulometria; **Arg.** = Argila; **Ds** = Densidade do solo; **Dp** = Densidade da partícula; **Ug** = Umidade gravimétrica; **S** = Soma de bases trocáveis; **T** = Capacidade de troca de cátions; **V** = Percentagem de saturação por bases; **Corg** = Carbono orgânico total; **AP** = Amostra perdida.

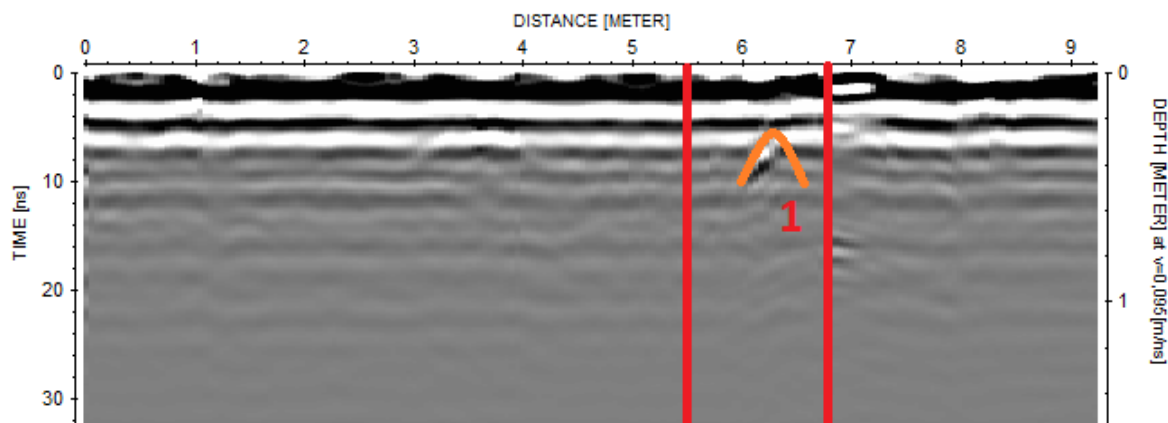


Figura 35. Disposição das barras de ferro no P3.

No radargrama obtido com a antena de 450 MHz foi vista apenas uma hipérbole com má nitidez identificada como a barra de ferro que marca a primeira transição. A velocidade do pulso calculada a partir dessa hipérbole foi de 0,04 m/ns, a qual foi usada para gerar a profundidade neste radargrama (Figura 36). Por causa da má nitidez dessa feição no radargrama, esta transição foi confirmada a partir da distância da barra até os limites lateriais da seção de controle do perfil.



(a)



(b)

Figura 36. Radargramas do P3 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro.

Este resultado pode estar associado à três características deste solo. Primeiramente, as quantidades mais marcantes nos teores de argila em superfície (quando comparadas com as dos horizontes superficiais dos Planossolos) e sua cor ser vermelha (matiz 2,5 YR), mostrando que há hematita (Almeida et al., 2000). Como a hematita é um óxido de ferro, as constantes K do solo e das barras podem ser próximas o suficiente para que a barra de ferro não seja captada como um reflector. Por fim, os valores maiores de umidade neste solo contribuem para que haja maior dissipação do sinal no solo.

A velocidade do pulso calculada para esse solo foi de 0,04 m/ns (Figura 37). Mas, como não foram registrados mais pontos de espalhamento no radargrama, não é possível confirmar se a velocidade calculada está ajustada com a profundidade das demais seções verticais do solo no radargrama. Tampouco é possível o cálculo de outras velocidades ao longo do perfil. Assim, não é possível confirmar se o modelo de profundidade gerado para este radargrama, em função da única velocidade calculada do pulso de 0,04 m/ns, possui ou não exatidão. Essa velocidade calculada está subestimada tomando-se como base tanto as velocidades calculadas nos outros perfis como valores de referência em literatura (vide Tabela 1).

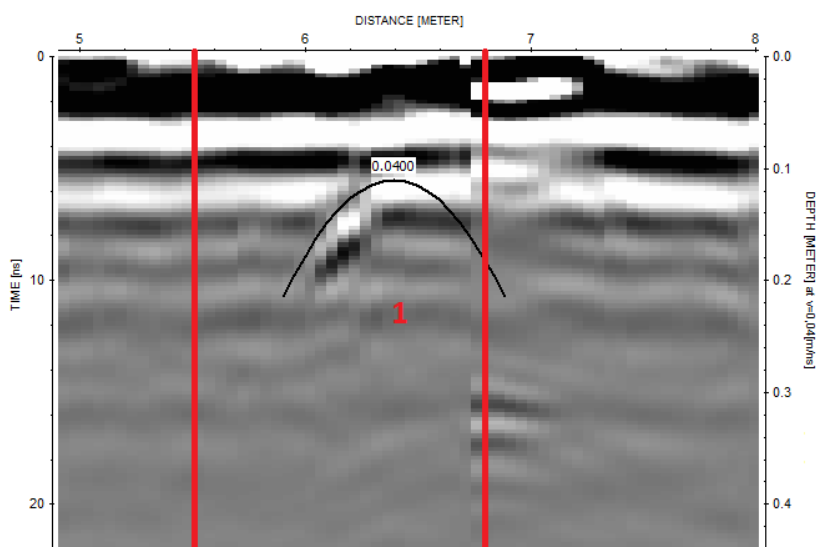


Figura 37. Determinação da velocidade do pulso no solo em P3 com a antena de 450 MHz.

Da mesma forma, a antena de 750 MHz gerou apenas uma hipérbole com uma nitidez muito baixa. O modelo de profundidade para este radargrama foi feito a partir da velocidade do pulso de 0,06 m/ns (Figura 39). Esta velocidade estimada a partir da primeira hipérbole neste radargrama é maior que a velocidade estimada pela antena de 450 MHz (Figura 37). A identificação de apenas uma hipérbole e o registro de uma velocidade maior para a antena de 750 MHz, comparada com a de 450 MHz, são indícios de que a utilização do GPR em solos com teores de argila mais altos tem limitações, podendo, inclusive, apresentar erros.

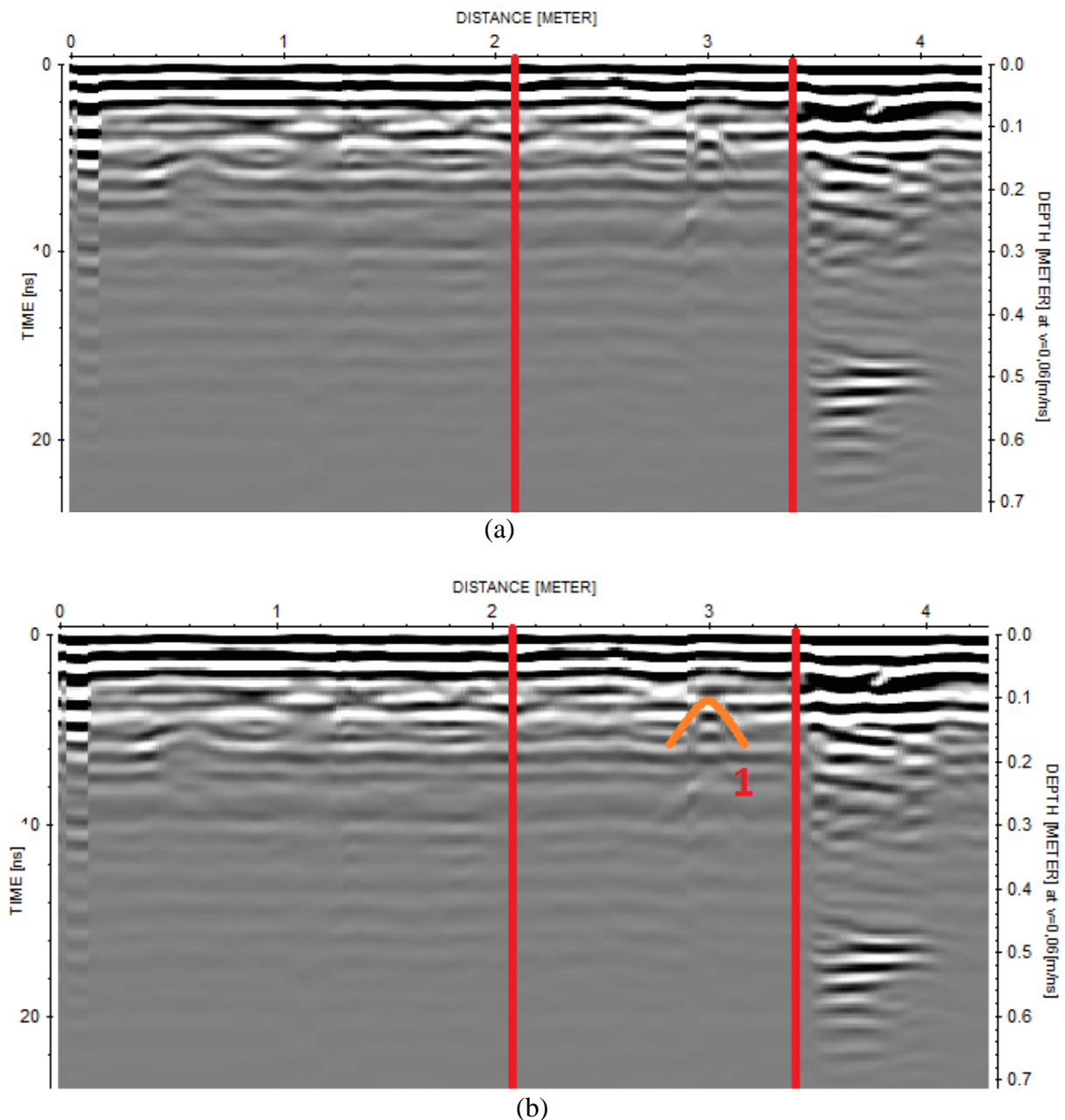


Figura 38. Radargramas do P3 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro.

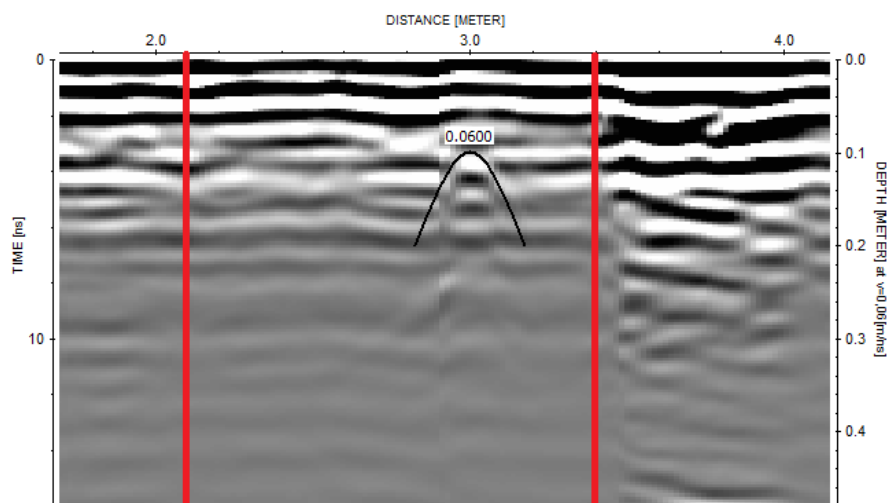


Figura 39. Determinação da velocidade do pulso no solo em P3 com a antena de 750 MHz.

Especificamente, quando se analisa a diferença entre as velocidades, o pulso emitido pela antena de 750 MHz deveria ter menor velocidade no meio do que o pulso emitido pela de 450 MHz, visto que o pulso de maior frequência (menor comprimento de onda) da antena de 750 MHz deveria interagir mais com os constituintes do solo do que o pulso de 450 MHz, diminuindo a sua velocidade de propagação. Como no caso da antena de 450 MHz, a identificação de uma única hipérbole no radargrama gerado pela antena de 750 MHz não possibilita confirmar a acurácia do cálculo da velocidade do pulso e do modelo de profundidade neste perfil.

Para o ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico (P8), os dados morfológicos, químicos e físicos estão apresentados na Tabela 10. No aspecto físico, o P8 apresenta maiores teores da fração areia nos primeiros três horizontes, assim como valores mais baixos de argila quando comparados com os valores nos horizontes B, havendo um aumento de 150 g kg^{-1} de argila de BA para Bt1. Também observa-se um aumento no valor absoluto da porosidade total em Bt3 e Bt4 de cerca de 10% em relação às demais subdivisões do horizonte B. Em relação à umidade, os valores são condizentes com a textura ao longo do perfil, em que nos horizontes com maiores quantidades nos teores de areia (primeiros três horizontes) a umidade é menor que nos horizontes com maiores teores de argila. Em relação aos resultados das análises químicas, o solo apresenta valores de Ca mais altos em A e Bt3, e de H+Al mais alto em A e mais baixo em Bt3. A organização das barras de ferro no perfil P8 está amostrada na Figura 40.

Tabela 13. Caracterização morfológica, física e química do perfil P8.

P8 – ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico									
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA									
Hor	Profund. (cm)	Gran. (gkg^{-1})		Cor úmida	Ds Mg/m^3	Dp Mg/m^3	Porosidade (%)		Ug (%)
		Areia	Arg.				Macro	Micro	
A	0-23	745	104	10YR 4/1	1,49	2,56	31,7	25,4	2,2
AB	23-53	806	136	10YR 5/3	1,54	2,60	22,9	31,3	1,3
BA	53-72	714	155	10YR 5/4	1,51	2,56	20,7	28,2	1,8
Bt1	72-89	549	319	10YR 4/6	1,55	2,54	20,9	28,0	5,2
Bt2	89-108	446	441	10YR 5/8	1,49	2,57	22,0	34,2	5,4
Bt3	108-137	398	454	10YR 5/8	1,53	2,55	25,6	39,7	5,2
Bt4	137-158 ⁺	402	507	10YR 5/8	1,30	2,55	36,3	32,2	6,3

Continua...

Tabela 14. Caracterização morfológica, física e química do perfil P8. Continuação.

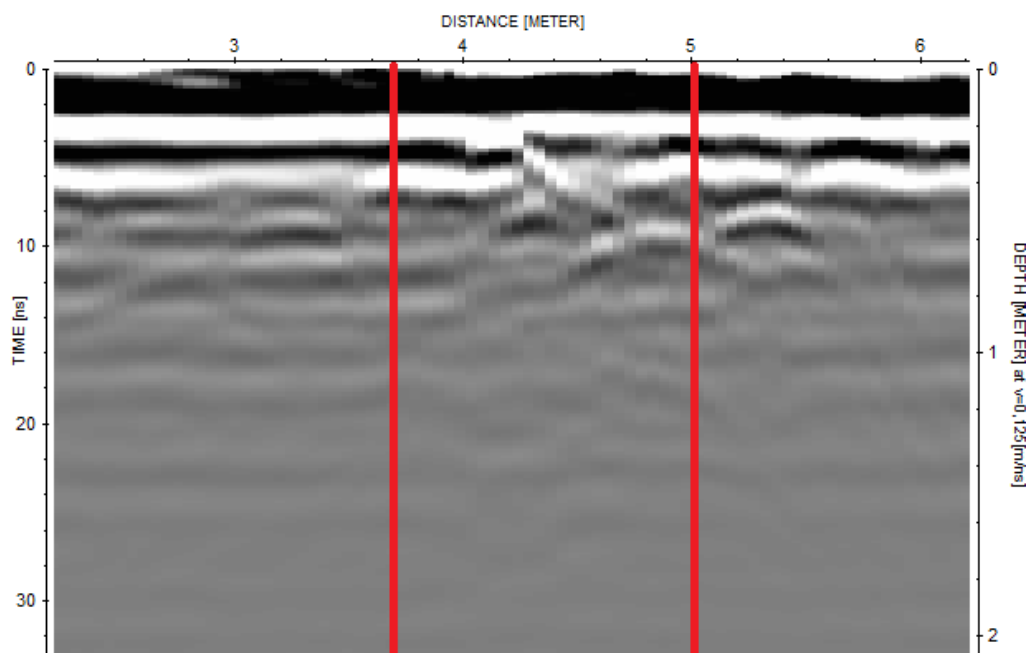
Hor.	ANÁLISE QUÍMICA									
	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	Corg
	cmolc / dm ³								-% -	g/kg
A1	0,035	3,6	3,1	0,10	5,8	0,0	6,84	12,64	54	16,1
A2	0,04	3,1	1,9	0,04	5,4	0,0	5,09	10,49	49	4,9
AB	0,03	1,7	1,5	0,02	3,9	0,0	3,26	7,16	46	4,4
BA	0,03	1,6	1,5	0,01	3,4	0,1	3,14	6,54	48	2,6
Bt1	0,05	1,9	1,9	0,01	3,0	0,0	3,87	6,87	56	3,3
Bt2	0,05	2,3	1,7	0,01	2,2	0,0	4,06	6,26	65	2,5
Bt3	0,04	3,1	1,0	0,01	1,3	0,0	4,16	5,46	76	3,8
Bt4	0,04	2,5	1,1	0,02	2,1	0,0	3,66	5,76	64	2,4

Legenda: **Hor.** = Horizonte; **Profund.** = Profundidade; **Gran.** = Granulometria; **Arg.** = Argila; **Ds** = Densidade do solo; **Dp** = Densidade da partícula; **Ug** = Umidade gravimétrica; **S** = Soma de bases trocáveis; **T** = Capacidade de troca de cátions; **V** = Percentagem de saturação por bases; **Corg** = Carbono orgânico total.

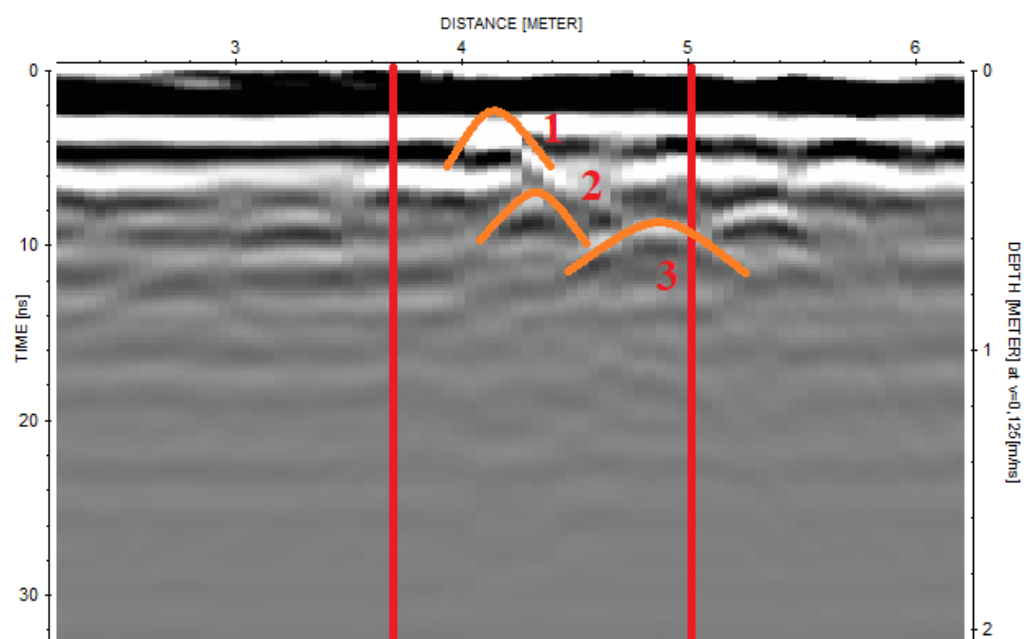


Figura 40. Disposição das barras de ferro no P8.

O radargrama com a antena de 450 MHz apresentou, com má nitidez, a delimitação das primeiras três transições deste solo (Figura 41), mesmo apresentando baixas quantidades no conteúdo de argila (cerca de 130 g kg^{-1}) nestes horizontes. Visto que a umidade também é baixa nestes horizontes, uma possível explicação pode estar nas altas concentrações dos íons de Ca, Mg e H+Al nestes horizontes que podem estar atenuando o sinal (Moreira & Dourado, 2007). Além disso, outro fator pode estar relacionado à mineralogia deste solo. Argissolos Amarelos possuem menos minerais constituídos por óxidos de ferro e/ou minerais de menor cristalinidade (Lima et al., 2006). A formação incipiente desses minerais acarreta na exposição de muitos sítios de carga, aumentando a carga líquida e favorecendo a atenuação do sinal do sinal (De Benedetto et al., 2010). O modelo de profundidade foi gerado considerando a velocidade do pulso de 0,17 m/ns.



(a)



(b)

Figura 41. Radargramas do P8 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pela barra de ferro.

Neste solo a velocidade de 0,17 m/ns ajustou com boa acurácia a posição das três hipérboles no radargrama, após ter gerado o modelo de profundidade (Figura 42).

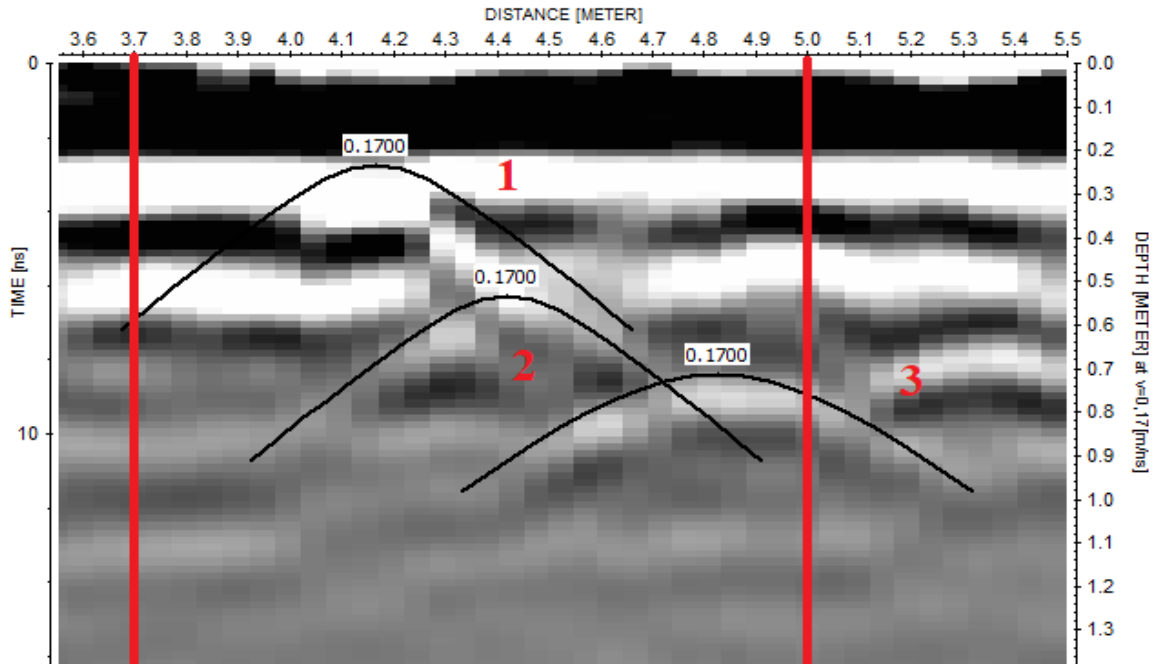
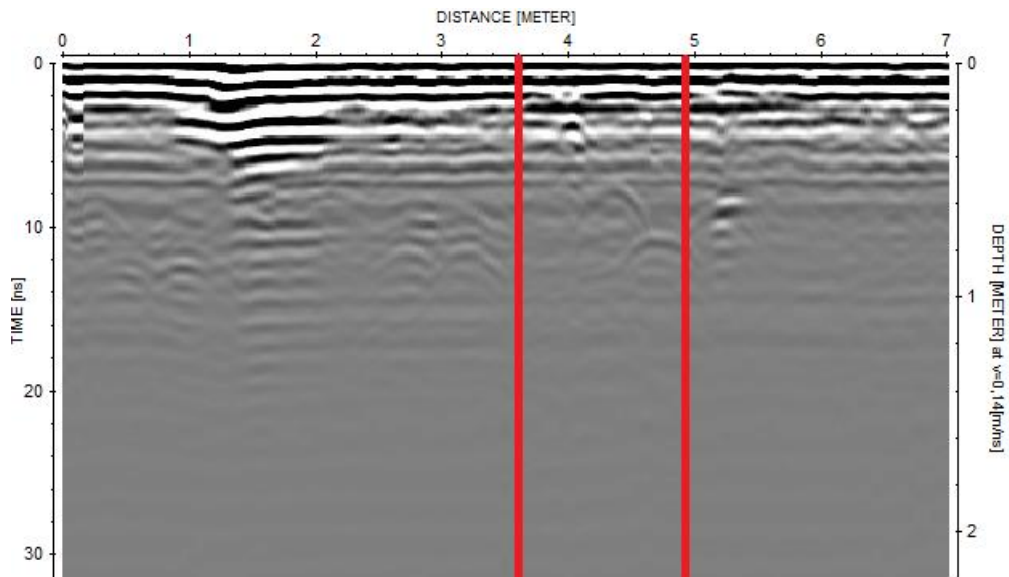


Figura 42. Determinação das velocidades do pulso no solo em P8 com a antena de 450 MHz.

O radargrama com a antena de 750 MHz também demarcou as assinaturas das barras de ferro das primeiras três transições (Figura 43). A medição da velocidade do pulso possibilitou uma boa acurácia no modelo de profundidade deste radargrama, sendo possível nivelar as três hipérbolas com a profundidade real de campo ao aplicar o valor único de 0,14 m/ns (Figuras 43 e 44).



(a)

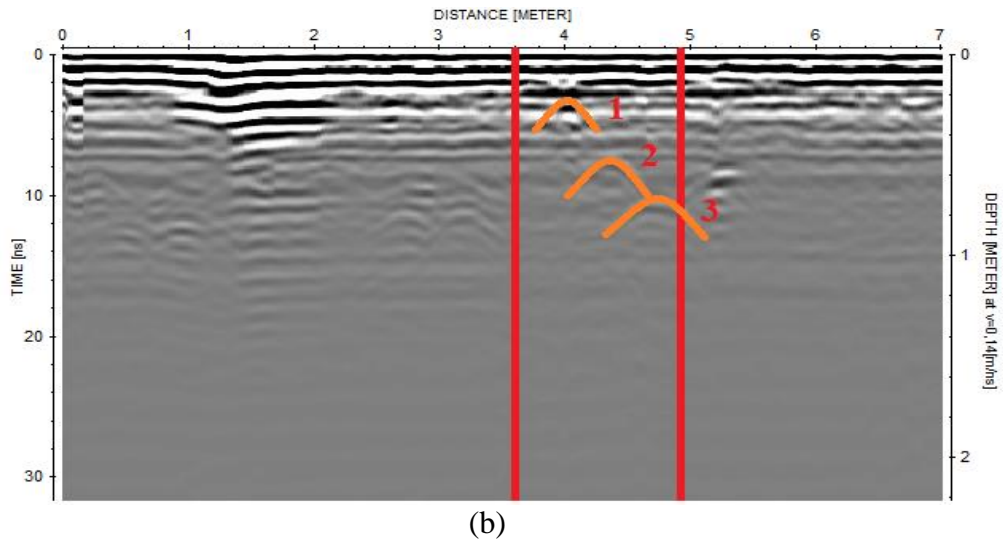


Figura 43. Radargramas do P8 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Imagem com os limites da região do perfil no radargrama; b) Demarcação das hipérbolas geradas pelas barras de ferro.

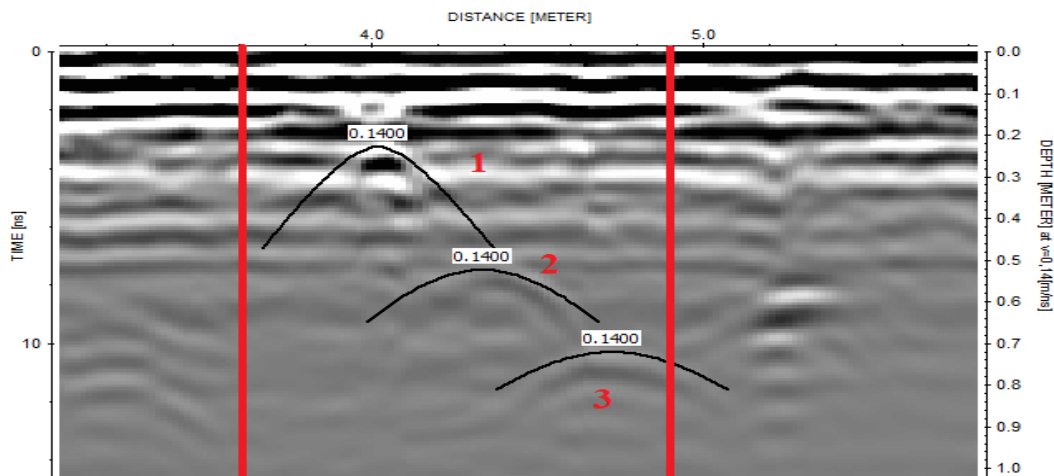


Figura 44. Determinação da velocidade do pulso no solo em P8 com a antena de 750 MHz.

Assim, ambas as antenas permitiram visualizar as barras de ferro nos horizontes com menos argila deste solo. Porém, as velocidades medidas entre as duas antenas apresentam incoerência, pois os dois valores medidos neste solo são maiores que a média dos Planossolos, o que é atípico, pois em solos mais condutivos (como este solo), a velocidade deveria ser menor por causa da maior interação do pulso com as partículas do solo. Dessa forma, este é mais um indício de que o GPR apresenta erros de leitura de velocidade em solos com características mais condutivas.

Os dados dos atributos morfológicos, químicos e físicos do ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (P9) estão na Tabela 11. Os teores de areia e argila neste solo apresentam valores constantes até a profundidade de 45 cm, onde ocorre a transição de BA para Bt1 (horizonte formado pela linha de pedras), com o aumento de 180 g kg^{-1} . Nesta mesma faixa, a cor muda de tons amarelos (7,5YR) para cores alaranjadas (5YR), mostrando que a proporção entre hematita e goethita mudou no solo (Almeida et al., 2000). As cores mais avermelhadas com maior destaque nesse solo é um indicativo de que a hematita está em maior proporção no perfil. Posteriormente, de Bt2 para regiões mais profundas, a matiz muda para 2,5YR, indicando mais um aumento na quantidade de hematita e/ou diminuição de goethita no solo.

Tabela 15. Caracterização morfológica, física e química do perfil P9.

P9 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico										
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA										
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)	
		Arcia	Arg.				Macro	Micro		
A	0-9	580	224	7,5YR 4/3	1,28	2,45	24	33,2	11,1	
AB	9-27	569	209	7,5YR 4/4	1,28	2,55	21,2	31,6	6,9	
BA	27-45	572	203	7,5YR 5/4	1,50	2,53	26,9	33,5	5,8	
Bt1	45-70	411	381	5YR 5/6	L.P.	2,61	L.P	L.P	6,9	
Bt2	70-93	295	598	2,5YR 5/6	1,23	2,59	30,5	30,8	8,8	
Bt3	93-115	245	565	2,5YR 5/8	1,08	2,51	34,3	33,9	10,6	
Bt4	115-148 ⁺	234	565	10R 5/6	1,24	2,55	25,2	47,6	AP	

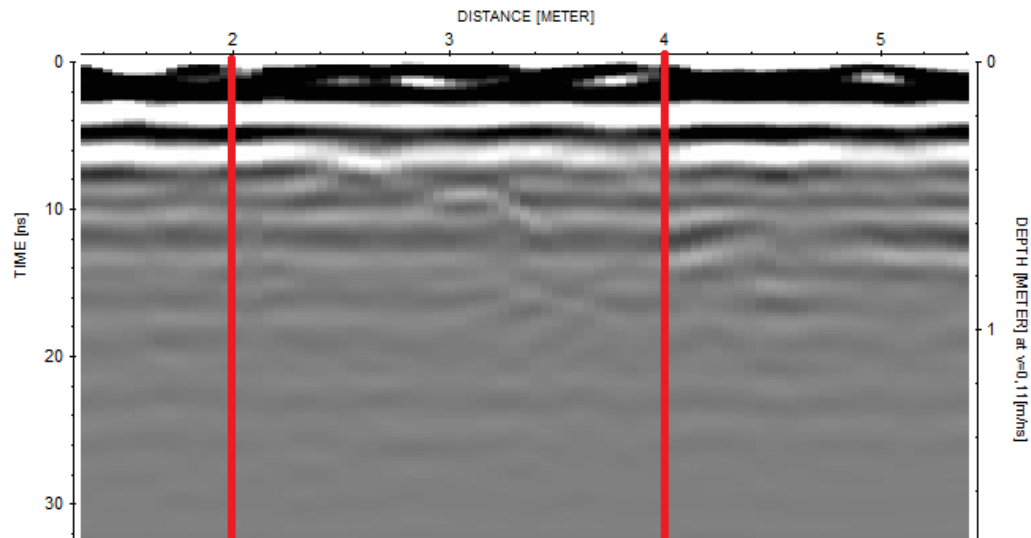
ANÁLISE QUÍMICA										
Hor.	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	Corg
	----- cmolc / dm ³ -----									- % -
A	0,07	2,3	2,0	0,10	5,8	0,0	4,47	10,27	44	14,4
AB	0,25	2,2	1,3	0,26	5,8	0,0	4,01	9,81	41	9,1
BA	0,20	1,7	1,1	0,14	6,2	0,1	3,14	9,34	34	6,1
Bt1	0,28	2,4	0,2	0,08	3,0	0,1	2,96	5,96	50	4,5
Bt2	0,26	2,6	1,0	0,05	2,1	0,0	3,92	6,02	65	5,7
Bt3	0,71	1,5	3,6	0,05	2,4	0,0	5,85	8,25	71	3,3
Bt4	0,71	1,7	3,3	0,05	2,1	0,0	5,75	7,85	73	1,9

Legenda: Hor. = Horizonte; Profund. = Profundidade; Gran. = Granulometria; Arg. = Argila; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade da partícula; Ug = Umidade gravimétrica; S = Soma de bases trocáveis; T = Capacidade de troca de cátions; V = Percentagem de saturação por bases; Corg = Carbono orgânico total; LP = Linha de pedras; AP = Amostra perdida.

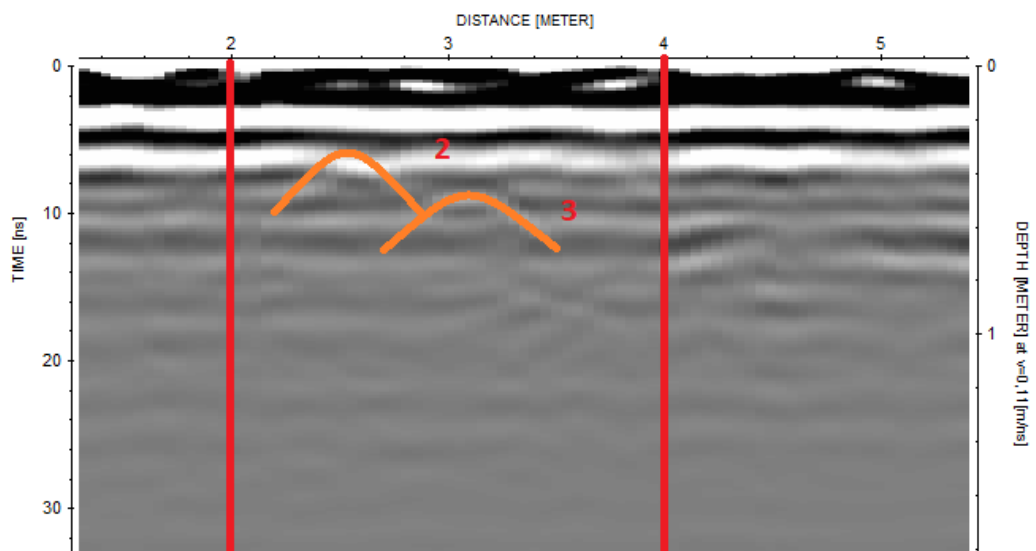
Da mesma forma que os demais Argissolos, as quantidades mais elevadas de argila desde a superfície (quando comparadas com os horizontes superficiais dos Planossolos) e a agregação do solo traduzem-se em maiores valores de umidade, principalmente à medida em que se investigam as regiões mais profundas do solo.

Diferente dos demais perfis, este solo teve as barras de ferro colocadas na parede adjacente de onde foram feitas as análises (Figura 45). Nota-se que neste solo houve a assinatura de duas hipérboles, demarcando as segunda e terceira transições (Figura 46), esta última demarcando a passagem de BA para Bt1 (hipérbole 3). O modelo de profundidade foi gerado a partir da velocidade do pulso medida de 0,11 m/ns (Figuras 46 e 47).

**Figura 45.** Disposição das barras de ferro no P9.



(a)



(b)

Figura 46. Radargramas do P9 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pela barra de ferro.

A baixa visibilidade das hipérboles pode ser decorrente dos teores mais altos de argila (cerca de 200 g kg^{-1}) em superfície associados aos valores maiores de umidade e à presença da hematita, diferente do P8 que possui menor quantidade de argila nos primeiros três horizontes (cerca de 130 g kg^{-1}) e menor umidade. Percebe-se que a barra de ferro a 70 cm não foi assinalada, sugerindo que nos horizontes com maiores teores de argila (nesse caso, cerca de 380 g kg^{-1}) a formação de hipérboles visíveis é dificultada ou impedida).

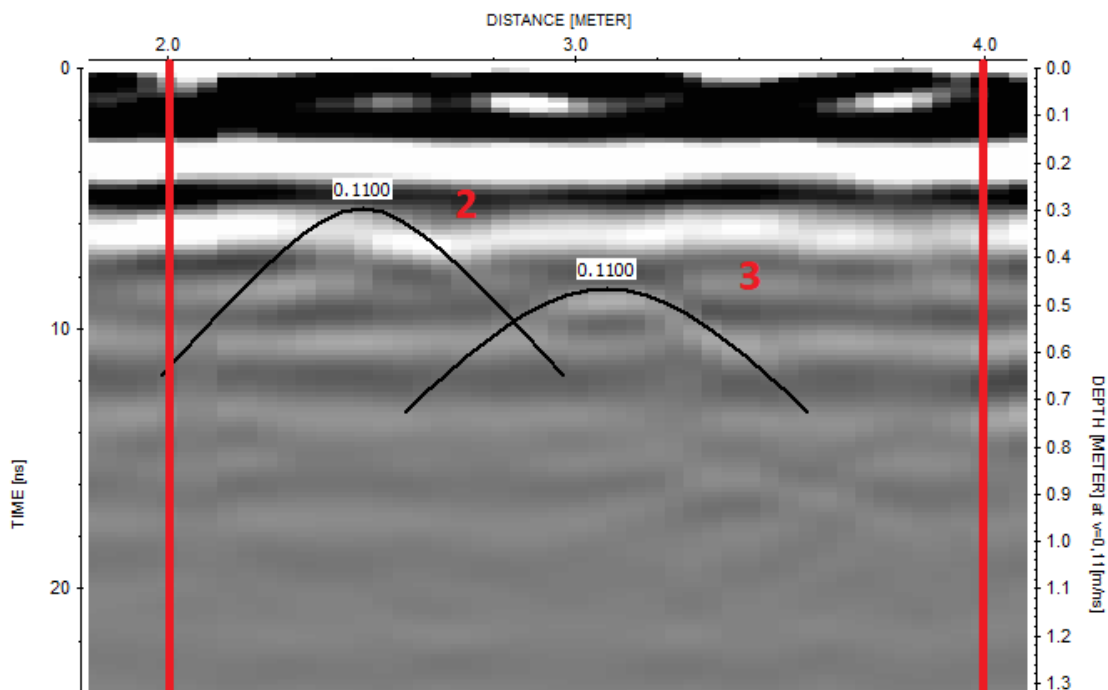
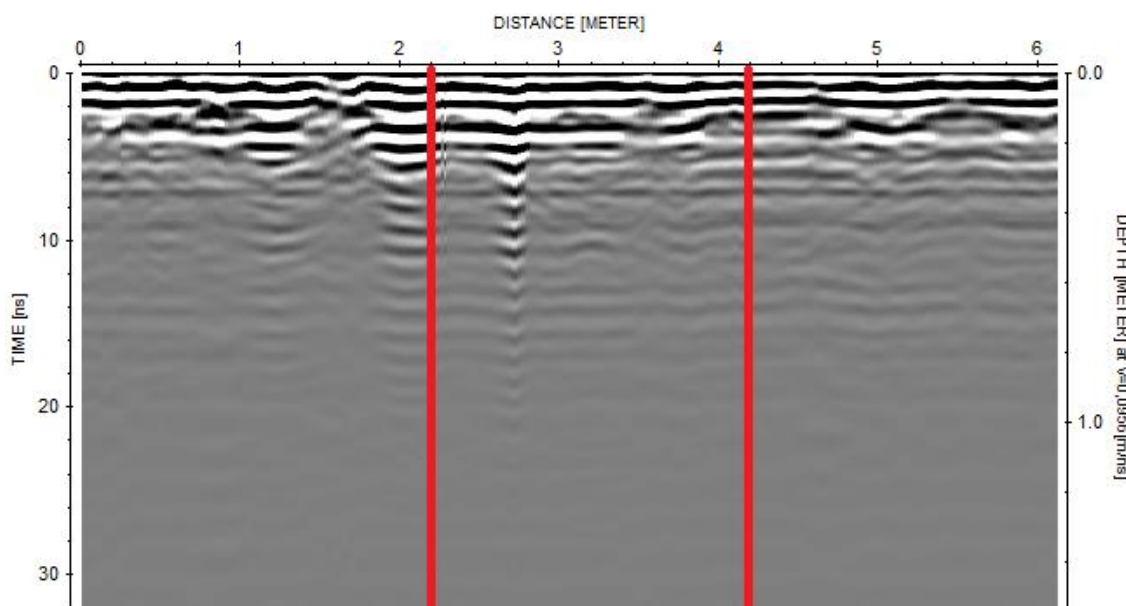
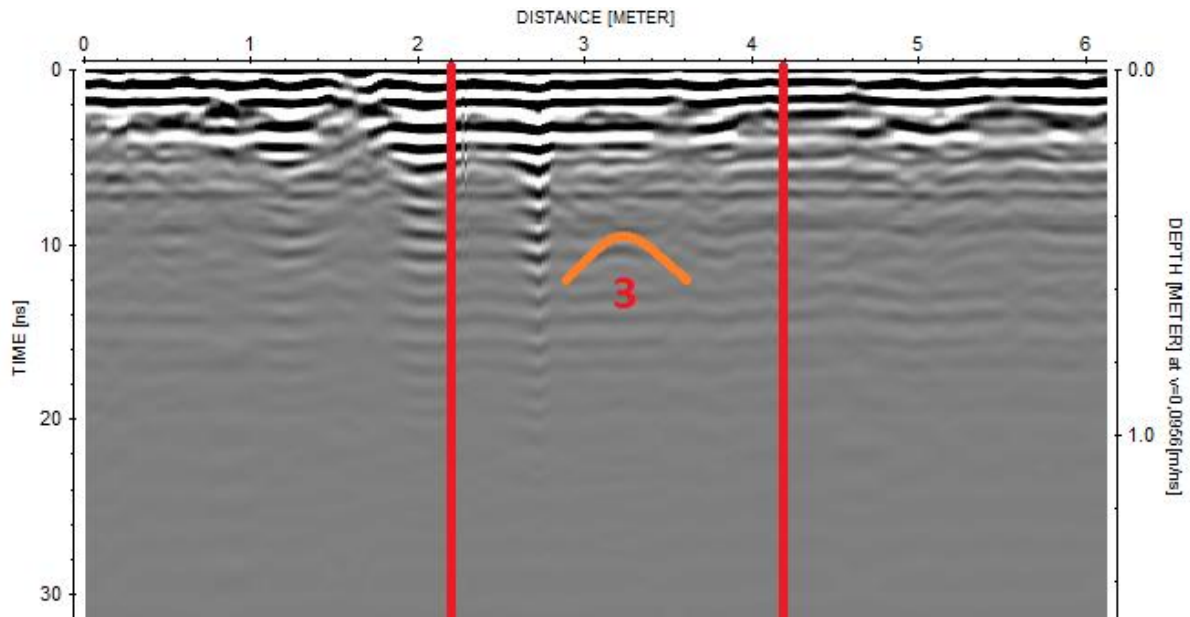


Figura 47. Determinação da velocidade do pulso no solo em P9 com a antena de 450 MHz.

No caso do radargrama gerado pela antena de 750 MHz, a antena capturou somente a assinatura da barra na terceira transição (Figura 48). A diminuição da visibilidade das assinaturas das barras pode ser explicada pela alta interação do pulso eletromagnético no solo com maiores teores de argila e umidade. Para esta transição, a velocidade registrada foi de 0,0956 m/ns, possibilitando gerar um modelo de profundidade para este radargrama (Figuras 48 e 49). Mas, como houve apenas uma hipérbole, não foi possível aferir com maior precisão as profundidades dos outros horizontes do solo.



(a)



(b)

Figura 48. Radargramas do P9 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação da hipérbole gerada pela barra de ferro.

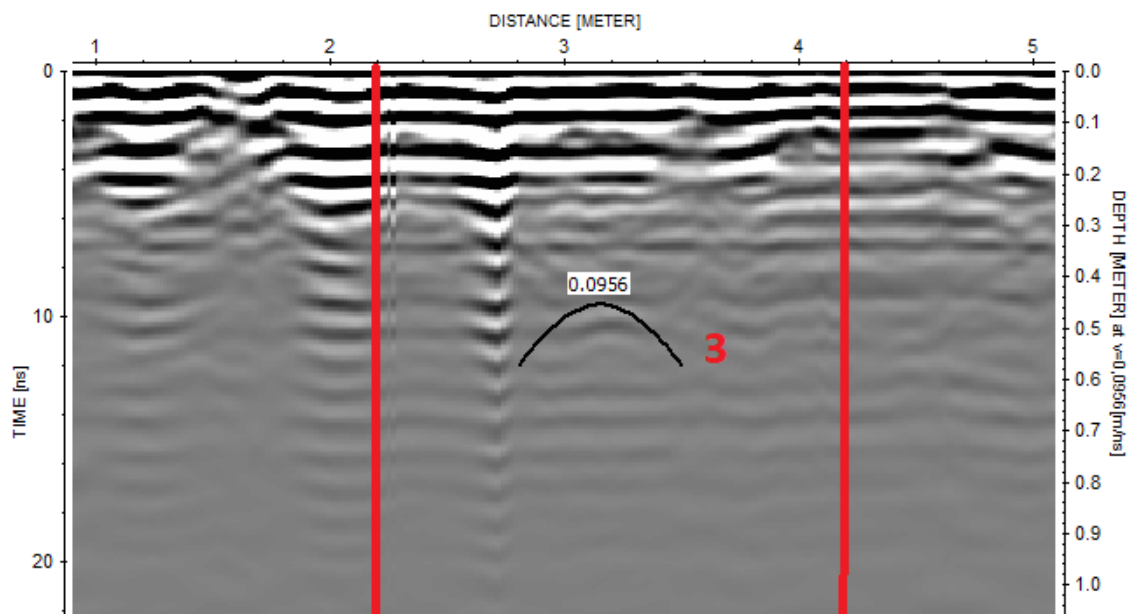


Figura 49. Determinação da velocidade do solo em P9 com a antena de 750 MHz.

As descrições morfológica, física e química do ARGISSOLO VERMELHO Distrófico nitossólico (P10) estão na Tabela 12. Este solo é caracterizado por maiores valores de argila desde a superfície do solo. A densidade do solo possui valores similares e relativamente baixos até o penúltimo horizonte (Bt2) e cores vermelhas, com predominância da matiz 2,5YR, indicando maior presença de hematita no solo e/ou baixa quantidade de goethita.

Tabela 16. Caracterização morfológica, física e química do perfil P10.

P10 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico nitossólico										
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA										
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)	
		Areia	Arg.				Macro	Micro		
A1	0-5	458	354	5YR 4/3	1,18	2,49	28,1	43,2	6,6	
A2	5-11	450	411	5YR 4/3	1,38	2,50	35,7	30,7	5,5	
AB	11-28	415	431	2,5YR 5/6	1,33	2,56	24,1	40,7	9,5	
BA	28-42	403	408	2,5YR 5/6	1,32	2,57	31,6	38,7	6,6	
Bt1	42-52	377	460	2,5YR 5/6	1,38	2,53	35,1	29,4	3,6	
Bt2	52-93	283	519	2,5YR 5/6	L.P.	2,57	L.P.	L.P.	8,4	
Bt3	93-120 ⁺	204	AP	2,5YR 4/6	1,50	2,64	34,5	33,0	9,7	

ANÁLISE QUÍMICA										
Hor.	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	Corg g/kg
	cmolc / dm ³								- % -	
A1	0,62	2,9	2,1	0,48	8,6	0,1	6,10	14,70	41	3,8
A2	0,62	1,9	2,0	0,02	7,3	0,1	4,53	11,83	38	5,0
AB	0,18	1,0	1,5	0,10	5,6	0,2	2,78	8,38	33	4,0
BA	0,13	1,0	2,0	0,08	4,9	0,2	3,21	8,11	40	6,6
Bt1	0,12	1,0	1,3	0,05	3,7	0,1	2,47	6,17	40	4,9
Bt2	0,19	0,9	2,0	0,07	4,9	0,2	3,16	8,06	39	1,0
Bt3	0,17	0,4	2,7	0,04	2,1	0,0	3,31	5,41	61	3,8

Legenda: Hor. = Horizonte; Profund. = Profundidade; Gran. = Granulometria; Arg. = Argila; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade da partícula; Ug = Umidade gravimétrica; S = Soma de bases trocáveis; T = Capacidade de troca de cátions; V = Percentagem de saturação por bases; Corg = Carbono orgânico total; LP = Linha de Pedras; AP = Amostra perdida.

Os valores de umidade relativamente altos em quase todos os horizontes refletem os valores altos de argila deste solo, assim como a presença de agregação nestes horizontes, o que favorece o acúmulo de água nos microporos. O valor mais baixo de umidade em Bt2 pode ser resultado de uma coleta da amostra em uma região do horizonte no perfil com menor quantidade de água em relação às demais áreas deste mesmo horizonte. Por outro lado, as concentrações dos íons de Ca, Mg e K são mais baixas que nos demais Argissolos. As localizações das barras de ferro no perfil 10 estão expostas na Figura 50.

**Figura 50.** Disposição das barras de ferro no P10.

Diferindo dos outros Argissolos, o radargrama teve uma assinatura bastante distinta nas demarcações das barras de ferro, sendo demonstradas as primeiras quatro transições (Figura 51). O modelo de profundidade neste radargrama foi ajustado a partir da velocidade do pulso de 0,07 m/ns. Esse perfil é um contraponto em relação aos demais Argissolos, pois a boa demarcação das barras de ferro em presença de valores elevados de argila (maiores que 350 g kg^{-1}) com valores análogos de umidade nesta mesma faixa de profundidade contradiz a literatura (Daniels et al., 1988).

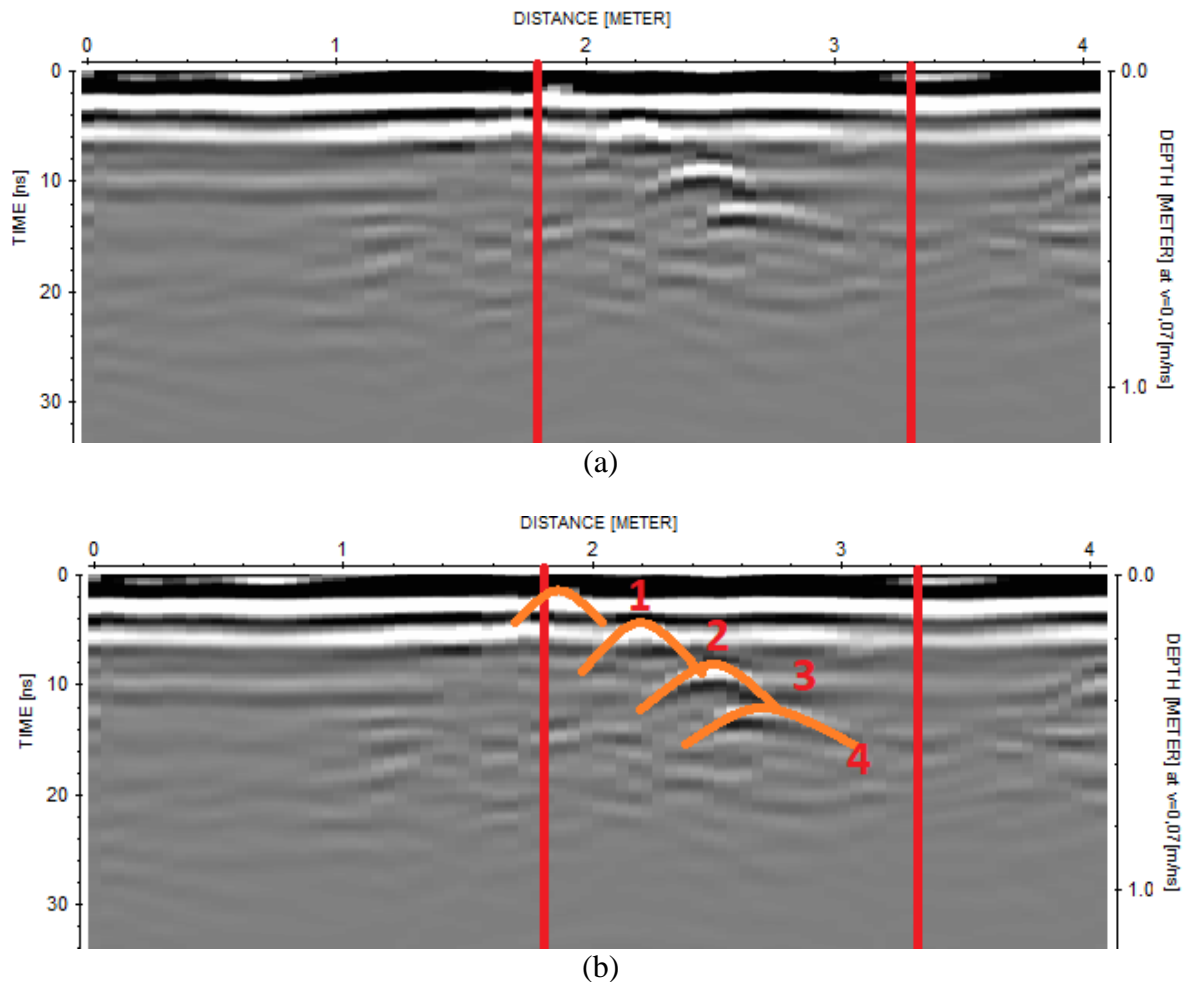


Figura 51. Radargramas do P10 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro.

Apesar desse solo apresentar melhor identificação das assinaturas, a barra de ferro a 52 cm de profundidade não foi identificada. Isso pode ser decorrente da alta quantidade de argila presente desde a superfície do solo, que pode estar atenuando o sinal em maiores profundidades, suprimindo as barras posicionadas nas regiões mais profundas do perfil. O único e baixo valor de 0,07 m/ns para esta antena afere as quatro profundidades registradas no radargrama (Figura 52).

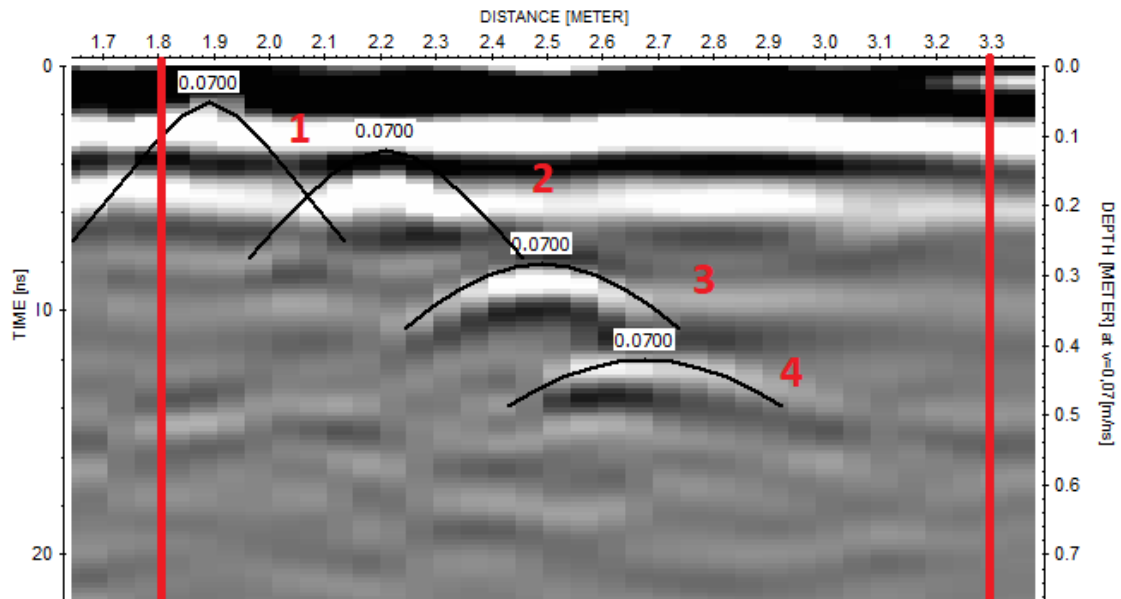
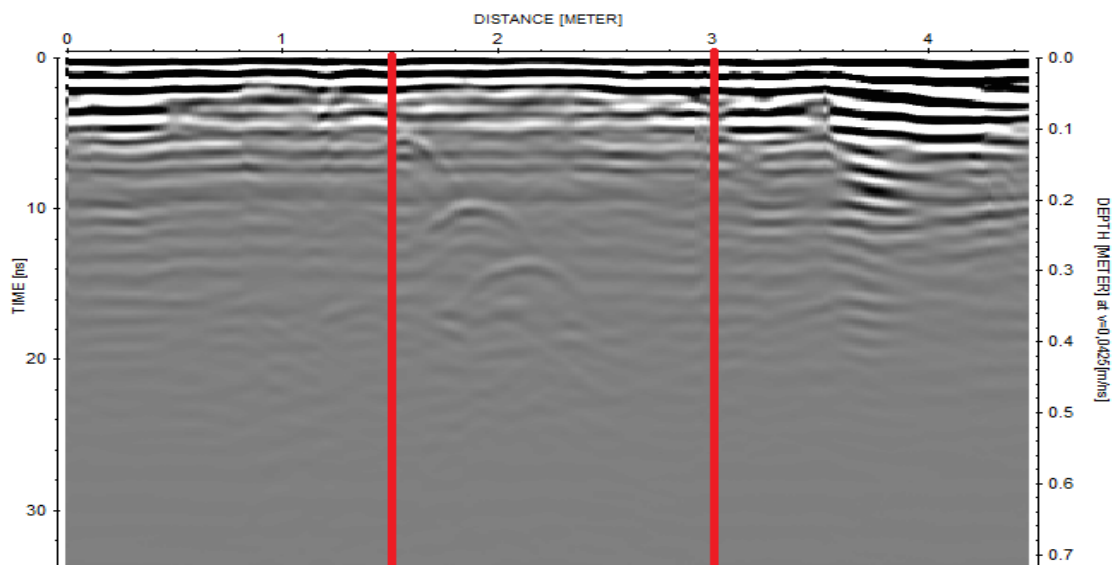
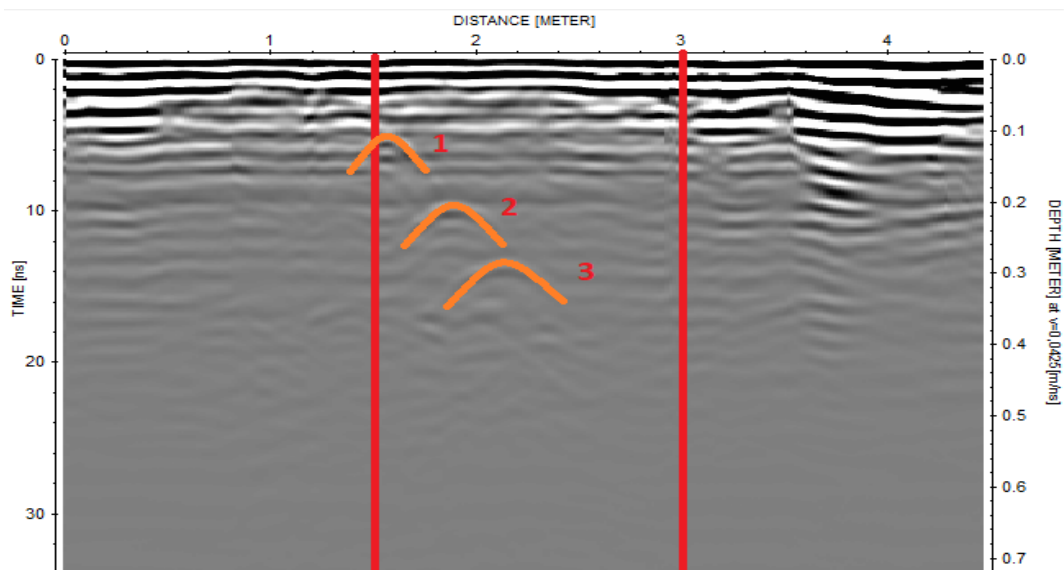


Figura 52. Determinação da velocidade do pulso no solo em P10 com a antena de 450 MHz.

No caso da antena de 750 MHz, também houve uma boa demarcação das barras, assinalando as três primeiras transições (Figura 53). Com a antena de 750 MHz não houve a demarcação da barra a 42 cm, possivelmente ocasionado pelos mesmos motivos discutidos anteriormente para a antena de 450 MHz. Neste radargrama, o modelo foi ajustado a partir da velocidade do pulso de 0,0425 m/ns.



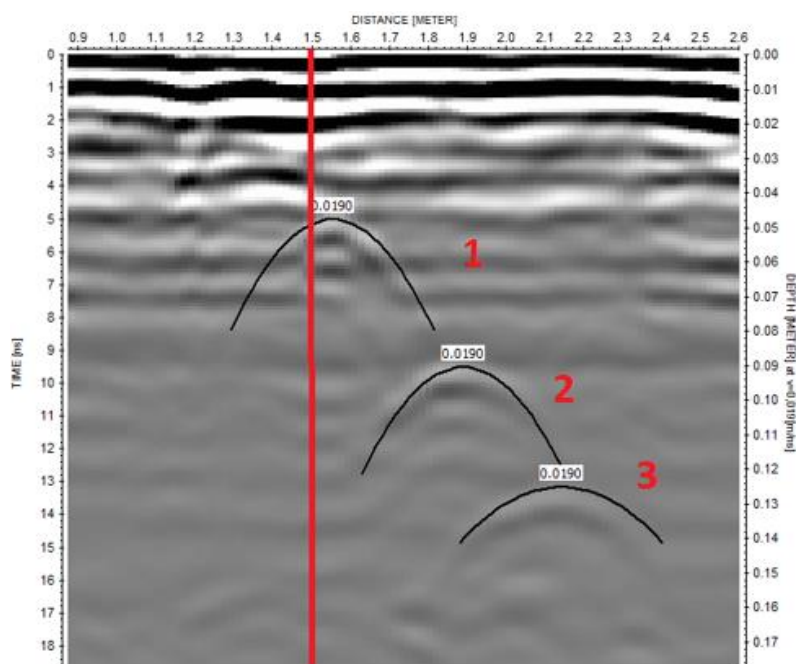
(a)



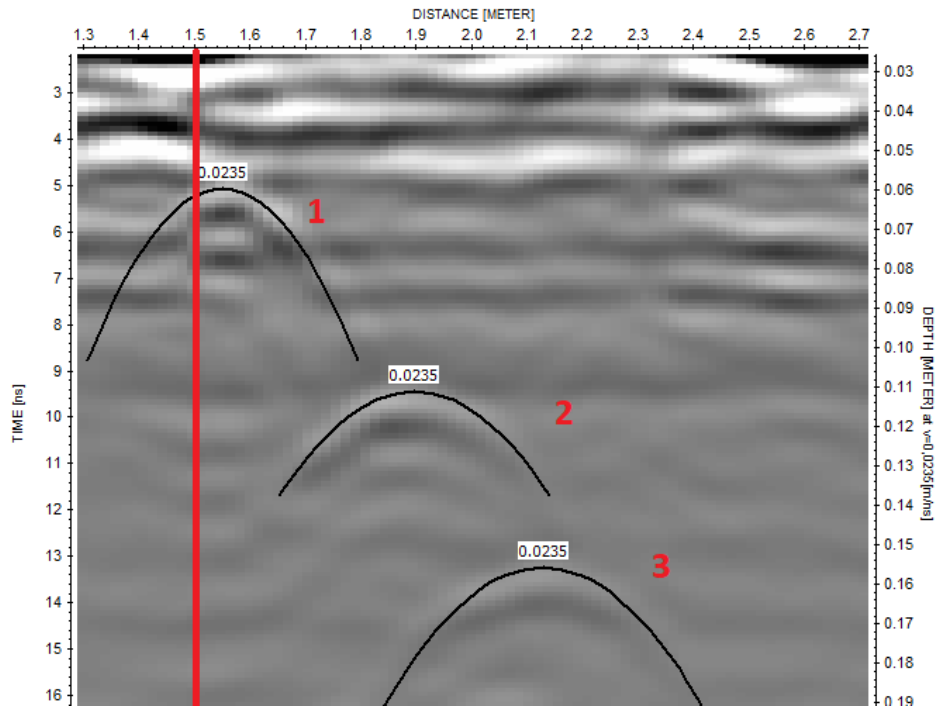
(b)

Figura 53. Radargramas do P10 obtidos com a antena de 750 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérbolas geradas pelas barras de ferro.

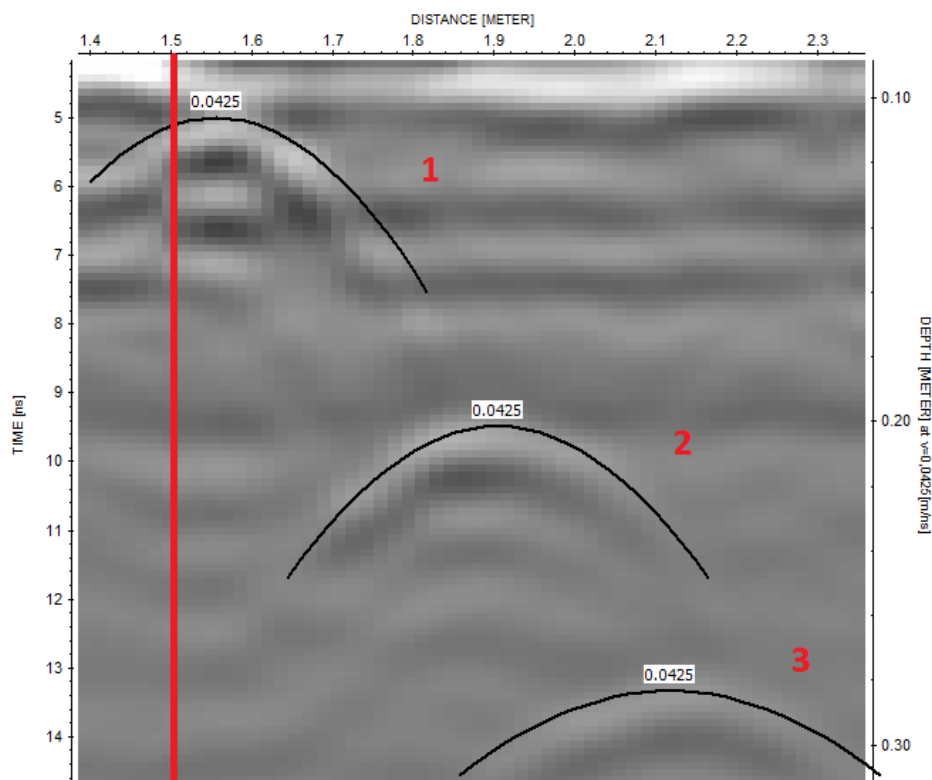
Por outro lado, diferente da antena de 450 MHz, a demarcação da velocidade neste solo não apresentou uma única constante. Mas, o que se destaca são as baixas marcas de velocidade (menor que 0,05 m/ns) nas três transições (Figura 54). Na primeira hipérbole foi demarcada uma velocidade de 0,019 m/ns (Figura 54a), na segunda transição foi aferido um valor de 0,0235 m/ns (Figura 54b) enquanto que na terceira transição a velocidade calculada foi 0,0425 m/ns (Figura 54c), valores esses estranhamente baixos em relação aos outros perfis de solo e à literatura, portanto, possivelmente incorretos. Desta forma, como não houve um valor de velocidade que pudesse aferir mais de uma hipérbole ao mesmo tempo, utilizou-se o valor de 0,0425 m/ns, pois é mais próximo e, talvez, mais coerente quando comparado com a velocidade de 0,07 m/ns medida com a antena de 450 MHz.



(a)



(b)



(c)

Figura 54. Determinação das velocidades do pulso no solo em P10 com a antena de 750 MHz. Em (a) foi feita a determinação para a hipérbole 1. Em (b) para a hipérbole 2. Em (c) para a hipérbole 3.

De forma geral, horizontes superficiais com teores de argila até próximo a 200 g kg^{-1} são favoráveis ao uso de barra de ferro para a demarcação da profundidade em radargramas, utilizando a antena de 450 MHz. Porém, a variação da velocidade entre os perfis, inclusive

entre perfis com a mesma classe de solo até quarto nível categórico, mostra que seu uso pode ser comprometido, caso haja necessidade de se mapear alguma feição de solo com precisão de profundidade. Por outro lado, a velocidade do pulso é influenciada por outros fatores, como a umidade e o teor de argila do solo, os quais devem ser levados em consideração ao se observar diferenças de velocidade do pulso entre perfis com a mesma classe de solo.

4.3. Análise do Radargrama do Cambissolo

Os atributos morfológicos, físicos e químicos do CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico (P1) estão mostrados na Tabela 13. Na transição de B1 para B2 ocorre um aumento da densidade do solo, associada a uma diminuição dos teores de argila de cerca de 50 g kg⁻¹. Na transição de B2 para BC também ocorre um aumento da densidade do solo. Os dados de umidade deste solo estão coerentes com os valores de argila ao longo do perfil. No caso, os valores mais elevados em BC e CB, mesmo com os teores baixos de argila, podem ser decorrentes da influência mais direta do lençol freático e por receber água das partes mais altas da paisagem. Em relação aos dados químicos, houveram aumentos nos valores de Na, Ca e Mg de B1 para B2. A disposição das barras no P1 está esquematizada na Figura 55.

Tabela 17. Caracterização morfológica, física e química do perfil P1.

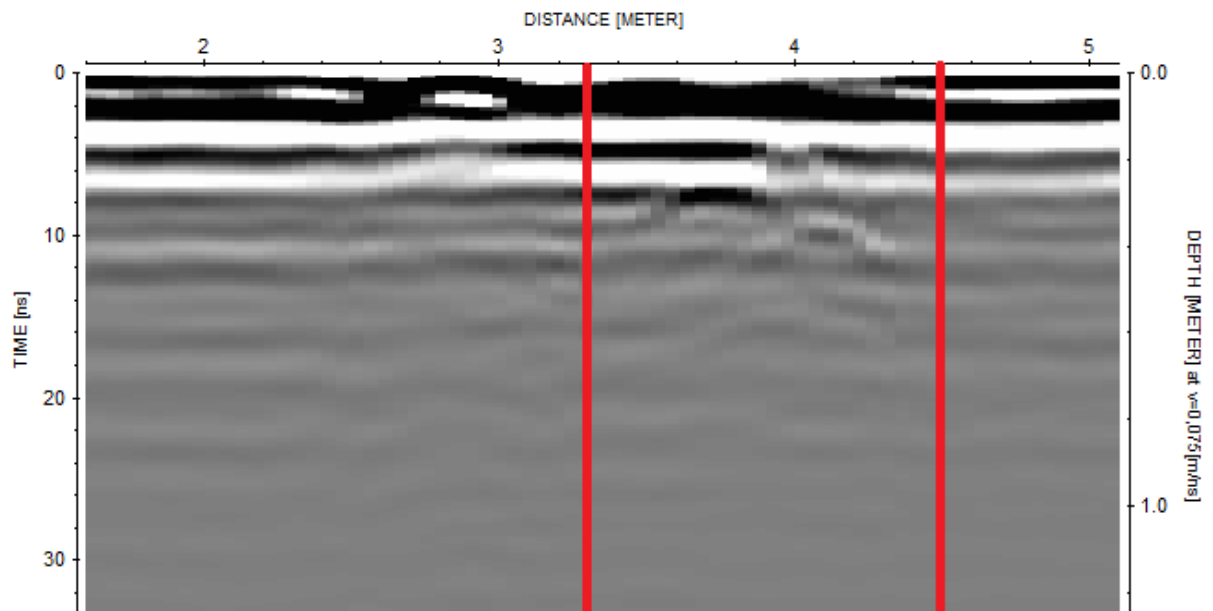
P1 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico										
ANÁLISE MORFOLÓGICA E FÍSICA										
Hor.	Profund. (cm)	Gran. (gkg ⁻¹)		Cor úmida	Ds (Mg/m ³)	Dp (Mg/m ³)	Porosidade (%)		Ug (%)	
		Areia	Arg.				Macro	Micro		
A1	0-10	594	206	7,5YR2,5/1	1,29	2,47	28,6	24,3	3,7	
A2	10-16	559	269	7,5YR 3/1	1,55	2,47	16,5	22,2	2,2	
BA	16-30	563	319	7,5YR 4/4	1,55	2,54	19,0	23,8	5,3	
B1	30-54	510	339	7,5YR 5/8	1,51	2,51	14,6	19,9	9,3	
B2	54-87	619	287	10 YR 5/8	1,67	2,54	15,2	24,8	7,0	
BC	87-115	648	271	N6/	1,77	2,50	12,7	23,7	12,0	
CB	115-130 ⁺	701	146	N6/	1,77	2,54	15,4	22,3	5,3	
ANÁLISE QUÍMICA										
Hor.	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	Corg
					cmolc / dm ³				%	g/kg
A1	0,11	1,8	1,3	0,24	12,0	0,4	3,45	15,45	22	5,5
A2	0,08	1,7	1,0	0,14	10,1	0,6	2,92	13,02	22	10,2
BA	0,08	1,1	0,7	0,04	6,7	1,6	1,92	8,62	22	9,5
B1	0,13	1,3	1,1	0,02	8,1	1,7	2,54	10,64	24	8,5
B2	0,29	1,7	1,3	0,02	6,7	1,5	3,31	10,01	33	8,6
BC	0,31	1,7	1,5	0,02	5,8	1,8	3,53	9,33	38	8,4
CB	0,34	1,9	1,5	0,03	7,3	2,3	3,77	11,07	34	8,4

Legenda: **Hor.** = Horizonte; **Profund.** = Profundidade; **Gran.** = Granulometria; **Arg.** = Argila; **Ds** = Densidade do solo; **Dp** = Densidade da partícula; **Ug** = Umidade gravimétrica; **S** = Soma de bases trocáveis; **T** = Capacidade de troca de cátions; **V** = Percentagem de saturação por bases; **Corg** = Carbono orgânico total.

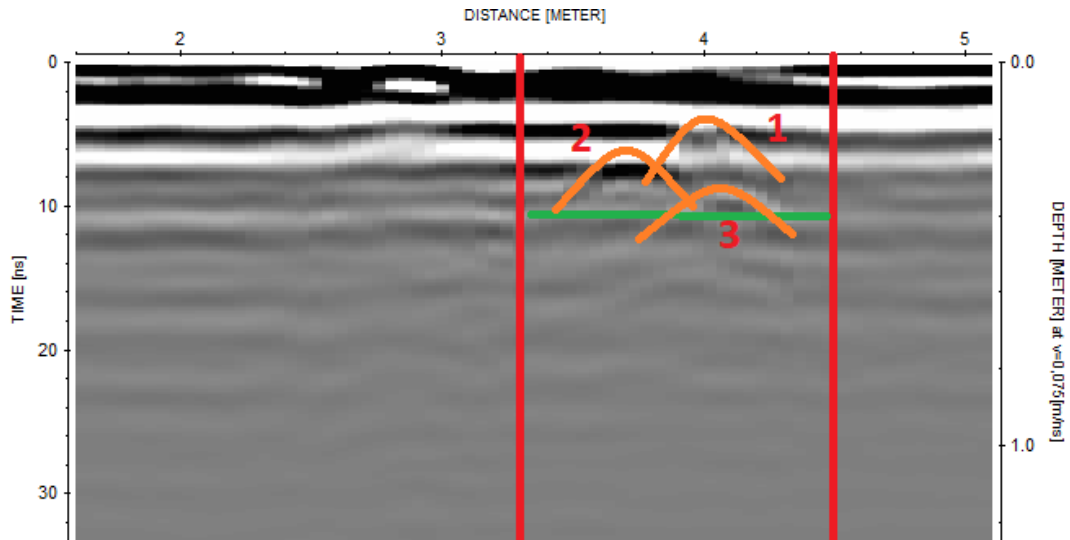


Figura 55. Disposição das barras de ferro no P1.

O radargrama do perfil P1 possibilitou a visualização de três hipérboles de barras de ferro, demarcando as primeiras três transições, com a antena de 450 MHz. O modelo de profundidade foi feito utilizando-se a velocidade do pulso de 0,075 m/ns (Figura 56). Além disso, na faixa de tempo aproximada de 10 ns, aparece uma possível camada guia demarcada em verde no radargrama (Figura 56b), posicionada perto da hipérbole 3. Em relação à possível camada guia, ao analisar os dados físicos, químicos e morfológicos de campo, nota-se que não há qualquer mudança significativa imediatamente abaixo da terceira transição. A mudança mais notória perto desta profundidade é representada por um aumento de 100 g kg^{-1} de areia e de, aproximadamente, 50 g kg^{-1} de argila de B1 para B2 a 54 cm de profundidade.



(a)



(b)

Figura 56. Radargramas do P1 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro e do reflector em verde.

A velocidade estimada do pulso eletromagnético de 0,0750 m/ns, possibilitando posicionar com acurácia as três profundidades demarcadas pelas hipérboles para as primeiras três transições entre horizontes. Ao utilizar o valor da velocidade estipulada neste radargrama, a possível camada guia perto da terceira transição fica posicionada em 40 cm de profundidade. Ao comparar-se essa profundidade com os dados existentes deste perfil, não é possível realizar uma correlação desta feição com qualquer alteração dos valores físicos, químicos e morfológicos na profundidade estimada, podendo ser considerada, até então, como um “falso positivo” (denominação do autor).

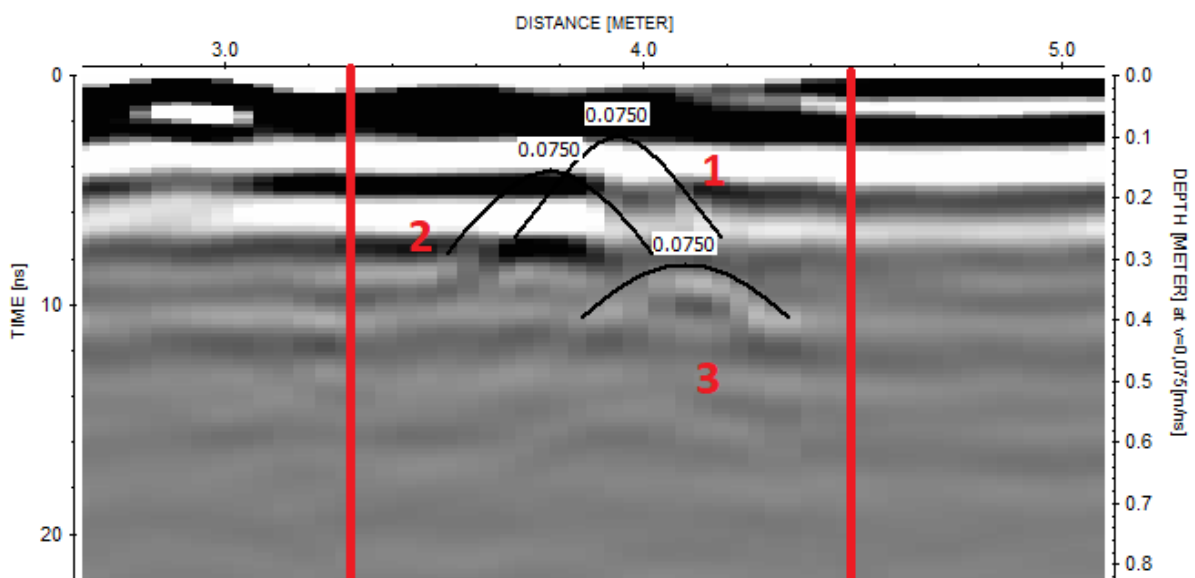


Figura 57. Determinação da velocidade do pulso no solo em P1 com a antena de 450 MHz.

De forma análoga ao radargrama de 450 MHz, a antena de 750 MHz conseguiu captar a assinatura das primeiras três transições (Figura 58), mesmo o solo apresentando uma quantidade maior de argila nestes primeiros quatro horizontes. Porém, a velocidade estimada do pulso foi bastante variável entre as três hipérboles, sendo de 0,043 m/ns para a hipérbole 1

(Figura 59a), de 0,055 m/ns para a hipérbole 2 (Figura 59b) e de 0,0645 m/ns para a hipérbole 3 (Figura 59c), sendo esses três valores baixos em relação aos Planossolos. Da mesma forma que no caso do radargrama de 750 MHz do P10, utilizou-se a velocidade de 0,0645 m/ns para ajustar a profundidade geral do radargrama por ser a mais próxima da velocidade de 0,075 m/ns medida com a antena de 450 MHz (Figuras 58 e 59c).

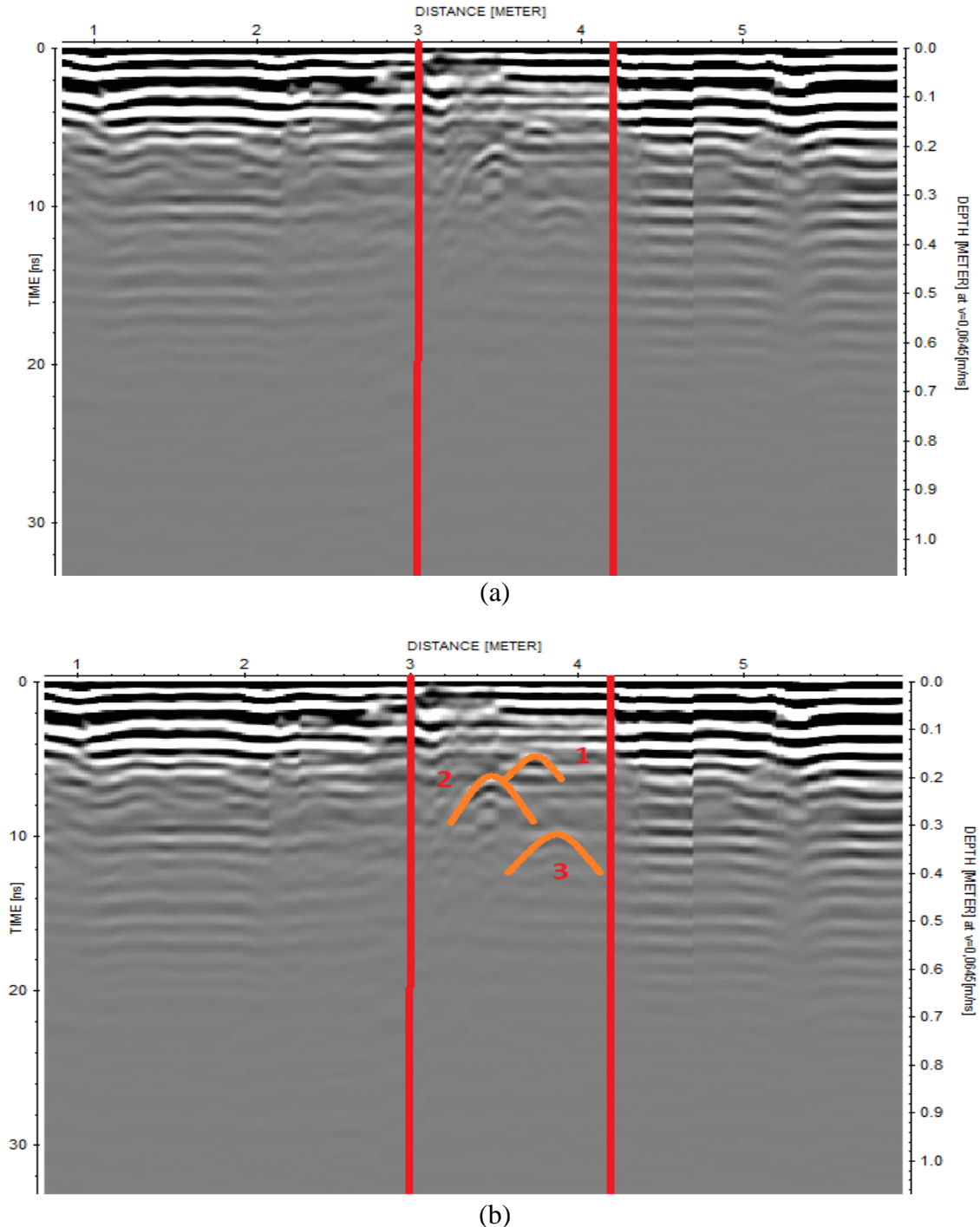
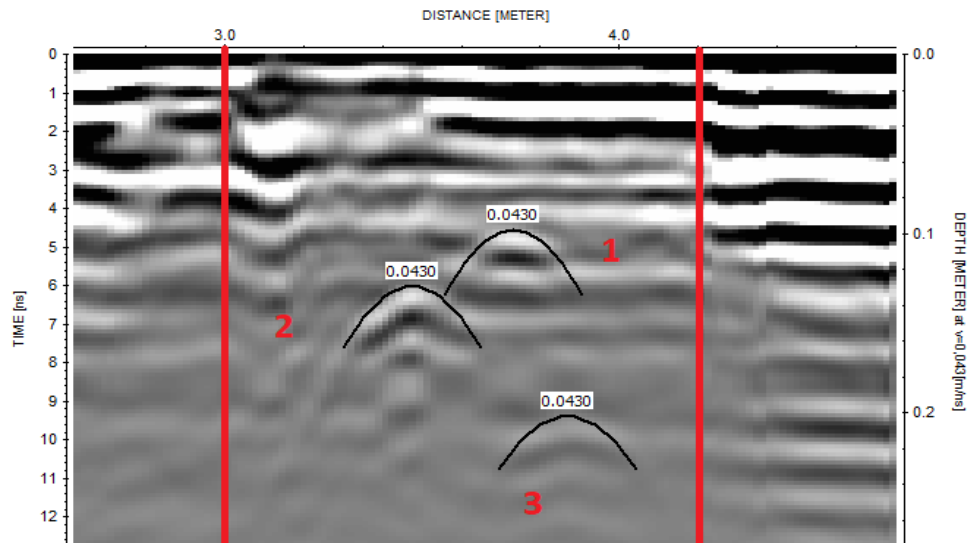
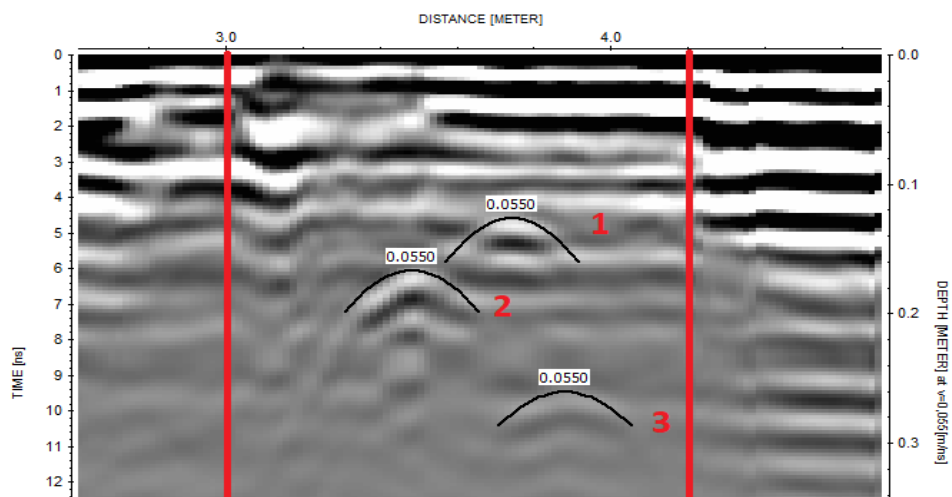


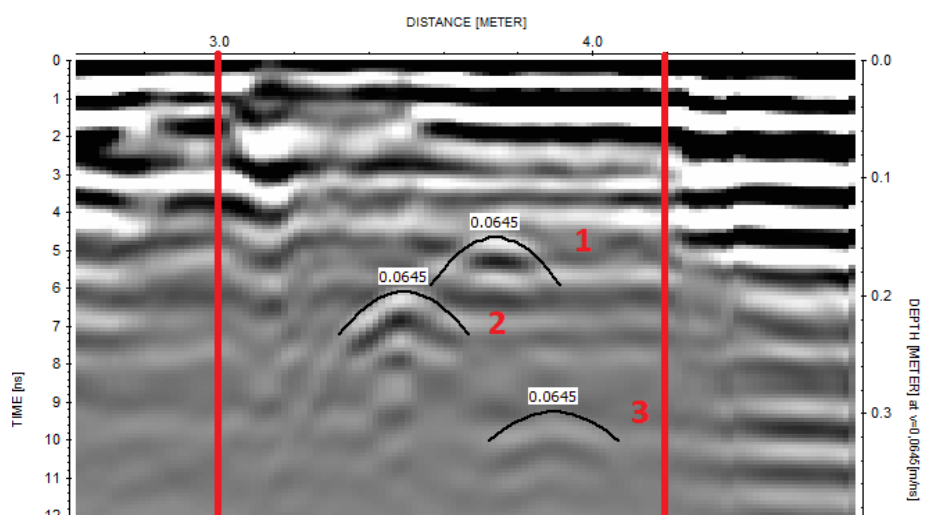
Figura 58. Radargramas do P1 obtidos com a antena de 450 MHz. a) Delimitação dos limites do perfil no radargrama em vermelho; b) Demarcação das hipérboles geradas pelas barras de ferro e do reflector em verde.



(a)



(b)



(c)

Figura 59. Determinação da velocidade do solo em P1 com a antena de 750 MHz. Em (a) foi feita a determinação para a hipérbole 1. Em (b) para a hipérbole 2. Em (c) para a hipérbole 3.

A utilização da antena de 750 MHz mostrou-se inviável neste tipo de solo devido às variações de velocidade que foram estimadas ao longo da seção vertical do radargrama. Além disso, em relação à feição vista no radargrama gerado pela antena de 450 MHz, que é similar às feições nos radargramas dos Planossolos (demarcando a passagem do horizonte E para o B), conclui-se que nem sempre é possível afirmar, em primeira instância, o padrão das características físicas, químicas e morfológicas ao longo da seção vertical do solo diretamente no radargrama sem antes analisar o perfil estudado.

Também, o horizonte A não apresentou uma expressão distintiva nestes radargramas, assim como foi visto nos radargramas dos outros perfis. Dessa forma, as primeiras alternâncias de cores (preto e branco) não representam, necessariamente, o horizonte A, principalmente no caso das imagens geradas pela antena de 750 MHz.

As Tabelas 14 e 15 mostram um resumo das análises e principais resultados obtidos, considerando os radargramas gerados com as antenas de 450 e 750 MHz, respectivamente. Em síntese, o radargrama obtido pela antena de 450 MHz alcançou regiões mais profundas do solo e capturou mais assinaturas das barras de ferro e de feições de interesse (por exemplo, da base do horizonte E). Além disso, a antena de 450 MHz apresentou menor variação da velocidade do pulso ao longo da seção vertical do perfil, o que implica em menores erros posicionamento das profundidades dos horizontes (transições) do solo após a geração de um modelo geral de profundidade, no caso dos radargramas com mais de uma velocidade estimada.

Tabela 18. Resultados das análises feitas com a antena de 450 MHz.

Classe	Planossolos					Argissolos				Cambi
	P2	P4	P5	P6	P7	P3	P8	P9	P10	P1
Quantidade de barras inseridas no perfil	5	6	6	5	8	6	7	6	6	5
Número de hipérboles no radargrama	3	2	4	3	4	1	3	2	4	3
Última barra vista no radargrama (cm)	69	57	116	66	41	10	72	45	42	30
Aparece a base do horizonte E ?	S	S	N	S	S	N	-	-	-	-
Barra na transição do horizonte A ?	S	N	S	S	S	S	S	N	S	S
Barra dentro do horizonte B ?	N	N	N	S	N	N	S	S	S	S
Quantidade de velocidades medidas	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1

Legenda: Cambi = Cambissolo; S = Sim; N = Não.

Tabela 19. Resultados das análises feitas com a antena de 750 MHz.

Classe	Planossolos					Argissolos				Cambi
	P2	P4	P5	P6	P7	P3	P8	P9	P10	P1
Quantidade de barras inseridas no perfil	5	6	6	5	8	6	7	6	6	5
Número de hipérboles no radargrama	3	2	3	1	5	1	3	1	3	3
Última barra vista no radargrama (cm)	69	57	38	44	67	10	72	45	28	30
Aparece a base do horizonte E ?	S	N	N	N	S	N	-	-	-	-
Barra na transição do horizonte A ?	S	N	S	N	N	S	S	N	S	S
Barra dentro do horizonte B ?	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S
Quantidade de velocidades medidas	1	1	2	1	3	1	1	1	3	3

Legenda: Cambi = Cambissolo; S = Sim; N = Não.

5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no presente trabalho permitem tecer as seguintes conclusões:

- a. A visualização das barras de ferro é, em geral, mais fácil nos radargramas obtidos com antena de 450 MHz em relação à antena de 750 MHz;
- b. A visualização das barras de ferro é, em geral, mais fácil em transições com mudança textural abrupta, geralmente presente nos Planossolos;
- c. A visualização da hipérbole gerada pela barra de ferro na transição do horizonte A para o seguinte nem sempre é possível no radargrama, apesar de ser a transição entre horizontes mais superficial;
- d. O cálculo da velocidade do pulso eletromagnético no solo a partir das hipérboles geradas pelas barras de ferro nos radargramas nem sempre é possível, tampouco confiável, carecendo de validação usando dados de campo, por exemplo, da profundidade de inserção das barras;
- e. Feições que se destacam no radargrama sempre devem ser comparadas com os dados pedológicos de campo e laboratório.

6. RECOMENDAÇÕES

Para estudos futuros sobre o uso de barras de ferro como indicadores de profundidades das transições do solo utilizando o GPR, recomenda-se:

- a. Utilizar antenas de mais baixas frequências para comparar com a nitidez das características do solo mapeadas neste trabalho;
- b. De forma a complementar a exploração das características do solo, a mineralogia dos horizontes deve ser conhecida para tentar identificar como ocorre a influência das espécies minerais na nitidez do radargrama;
- c. Por fim, como a nitidez do radargrama é dependente da umidade do solo, é importante que em toda coleta de dados utilizando o GPR seja feita a quantificação da umidade do solo por horizonte como subsídio à interpretação dos resultados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMCHUK, V.I.; HUMMELB, J.W.; MORGAN, M.T.; UPADHYAYA, S.K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 44, p. 71–91, 2004.
- AGUIAR, J.C. M. Radar de Penetração no Solo (GPR): aspectos geofísicos e geodésicos, processamento e análise em pavimento flexível. 2005. 128f. (Dissertação), Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2005.
- 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*, v. 24, p. 815-828, 2000.
- ANNAN, A.P. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Sensors & Software, Inc.: Mississauga, Canadá, 1992.
- ANNAN, A.P. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Sensors & Software, Inc.: Mississauga, Canadá, 2001.
- ANNAN, A.P. Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications. Sensors & Software, Inc.: Mississauga, Canadá, 2003.
- ANNAN, A.P. Electromagnetic principles of ground penetrating radar. In Jol, H.M. (Ed.). *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, 1st ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 2009, p. 3-40, ISBN: 978-0-444-53348-7.
- BANO, M. Constant dielectric losses of ground-penetrating radar waves. *Geophysical Journal International*, v. 124, p. 279-288, 1996.
- BARBOSA, E.E.M., PRADO, R.L.; MENDES, R.M.; MARINHO, F. A. M. Estimativas do teor de umidade empregando o método GPR: uma avaliação comparativa em experimentos de laboratório e campo. *Revista Brasileira de Geofísica*, n. 28, v. 4, p. 691-701, 2010.
- BARROS JÚNIOR, V. L. M. Utilização do Radar de Penetração em dois solos do Norte Fluminense. 2011. 63f. (Dissertação), Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.
- BENEDETTO, D.; CASTRIGNANÒ, A.; SOLLITTO, D.; MODUGNO, F.; BUTTAFUOCO, G.; LO PAPA, G. Integrating geophysical and geostatistical techniques to map the spatial variation of clay. *Geoderma*, v. 45, p. 197–207, 2012.
- BENEDETTO, D.; QUARTO, R.; CASTRIGNANÒ, A.; PALUMBO, D.A. Impact of Data Processing and Antenna Frequency on Spatial Structure Modelling of GPR Data. *Sensors*, v. 15, p. 16430-16447, 2015.
- BENEDETTO, A.; TOSTI, F.; BIANCHINI CIAMPOLI, L.; D'AMICO, F. An overview of ground-penetrating radar signal processing techniques for road inspections. *Signal Process.*, v.132, p. 201-209, 2017.
- BORGES, W. R. Investigações geofísicas na borda da bacia sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e eletrorresistividade. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 22, n.1, 2004.

CASSIDY, N.J. Ground Penetrating Radar Data Processing, Modelling and Analysis. In Jol, H.M. (Ed.). Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, 1st ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 2009, p. 141-175, ISBN: 978-0-444-53348-7.

CASTRO, D. L. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza – Ce. Revista Brasileira de Geofísica, v. 26, n.3, p. 251-271, 2008

CEZAR, E.; CHICATI, M. L.; FABRO, F. D.; HATA, F.T.; NANNI, M. R.; OLIVEIRA, RONEY B.; GROFF, E. C. Uso de GPR na avaliação de atributos de solo em área sob plantio de cana-de-açúcar. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, p. 7693-7700. 2009.

CEZAR, E.; NANNI, M.R.; CHICATI, M. L.; FABRIO, F.D.; HATA, F. T.; OLIVEIRA, R. B. Uso de sistema GPR (Ground Penetrating Radar) na avaliação de atributos de um solo sob plantio de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 291-297, 2010.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M.L.; OLIVEIRA, R. B. Emprego de GPR no estudo de solos e sua correlação com métodos laboratoriais. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, n. 3, p. 979-988, 2012.

COLLINS; M. E., SCHELLENTRAGER; G. W., DOOLITTLE; J. A., SHIH; S. F. Using Ground-penetrating Radar to Study Changes in Soil Map Unit Composition in Selected Histosols. Soil Science Society of America Journal, v. 50, p. 408-412, 1986.

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONEL, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p. 56-63, 2012.

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

DANIELS, D. J. Surface-penetrating radar —IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 6: London, The Institute of Electrical Engineers, 320 p., 1996

DANIELS, D.J. Ground-penetrating radar, 2nd ed.; The Institution of Electrical Engineers: London, UK, 2004; 734f.

DANIELS, D.J. Antennas. In Jol, H.M. (Ed.). Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, 1st ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 2009, p. 99-140, ISBN: 978-0-444-53348-7

DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Ground Penetrating Radar for High Resolution Mapping of oil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, v. 37, p. 531–551, 1989.

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.

DE BENEDETTO, D.; CASTRIGNANÒ, A.; SOLLITTO, D.; MODUGNO, F.; BUTTAFUOCO, G.; LO PAPA, G. Integrating geophysical and geostatistical techniques to map the spatial variation of clay. Geoderma, v. 45, p. 197–207, 2012.

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.

DOOLITTLE, J.A.; COLLINS, M.E. A comparison of EM induction and GPR methods in areas of karst. *Geoderma*, v. 85, p. 83–102, 1998.

DOOLITTLE, J.A.; BUTNOR, J.R. Soils, peatlands, and biomonitoring. In Jol, H.M. (Ed.). *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, 1st ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, p. 179-202, 2009.

DOOLITTLE, J.A.; JENKINSON, B.; HOPKINS, D.; ULMER, M.; TUTTLE W. Hydropedological investigations with ground-penetrating radar (GPR): Estimating water-table depths and local ground-water flow pattern in areas of coarse-textured soils. *Geoderma*, v.131, p. 317–329, 2006.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; 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.

FERREIRA, Í. F.B. Estudo sobre composições de partida para cerâmica dielétrica via incorporação de carago (CaSO₄.2H₂O). 2013. 130f. (Dissertação), Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, RN

FREELAND, R.S.; YODER, R.E.; AMMONS, J.T. Mapping shallow underground features that influence site-specific agricultural production. *Journal of Applied Geophysics*, v. 40, p. 19–27, 1998.

GANDOLFO, O.C.B.; SOUZA, L.A.P.; TESSLER, M.G.; RODRIGUES, M. Estratigrafia rasa da Ilha Comprida (SP): um exemplo de aplicação do GPR. *Brazilian Journal of Geophysics*, v. 19, n. 3, p. 251-262, 2001.

GOES, M. H. B. Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí. 1994. 529 f. (Tese), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, SP, 1994

HAGREY, S.A., MULLER, C. GPR study of pore water content and salinity in sands. *Geophysical prospecting*, v. 48, p. 63–85, 2000.

HEINIGER, R.W.; MCBRIDE, R.G.; CLAY, D.E. Using soil electrical conductivity to improve nutrient management. *Agronomy Journal*, v. 95, p. 508-519, 2003.

HUBER, E.; HANS, G. R. GPR: Ground-penetrating radar (GPR) data visualisation, processing and delineation. R package version 0.0.0. Disponível em: <<https://github.com/emanuelhuber/RGPR>>. Acesso em: 22 junho 2018.

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.

JULIANO, T.; MEEGODA, J.; WATTS, D. Acoustic emission leak detection on a metal pipeline buried in sandy soil. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, v. 4, p. 149–155, 2013.

KÄMPF, N.; MARQUES, J.J.; CURI, N. Mineralogia dos solos brasileiros. In KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R; TORRADO, P.V. (Eds.). *Pedologia: fundamentos*, 1 ed.; SBSC: Viçosa, MG, 2015, p. 81 - 146.

- LAMBOT, S.; SLOB, E.C.; VAN DEN BOSCH, I; STOCKBROECKX, B.; SCHEERS, B.; VANCLOOSTER, M. Estimating soil electric properties from monostatic ground-penetrating radar signal inversion in the frequency domain. *Water Resources Research*, v. 40, p. 1-12, 2004.
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W. V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J. C.; LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma toposseqüência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 59-68, 2006.
- LISBÔA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURACK, D. L.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. de S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, p.1184-1193, 2016.
- LOEWER, M.; IGEL, J.; WAGNER, N. Spectral Decomposition of Soil Electrical and Dielectric Losses and Prediction of in Situ GPR Performance. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 9, n. 1, p. 212-220, 2016.
- MARTINEZ, A.; BYRNES, A. Dielectric probe procedures: Kansas Geological Survey, Open-file Report 99-1, 17 p., 1999.
- MOREIRA, C. A.; DOURADO, J. C. Monitoramento da atenuação natural de pluma de contaminação pelo método de Radar de Penetração no Solo (GPR). *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, n. 4, p. 389-398, 2007.
- MOUTINHO, L.; PORSANI, J. L.; PORSANI, M. J. Deconvolução preditiva de dados gpr adquiridos sobre lâmina d' água: exemplo do rio taquari, pantanal mato-grossense. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23; n.1, p. 61-74, 2005.
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, v. 76, p. 319-337, 1984.
- OLHOEFT, G. R. Tables of Room Temperature Electrical Properties for Selected Rocks and Minerals with Dielectric Permittivity Statistics: U.S. Geology Survey, Open File Report 70 – 993, 24 p., 1979
- OLHOEFT, G. R. Electrical properties of rocks. In TOULOUKIAN, Y.S.; JUDD, W.R.; ROY, R.F.I(Eds.). *Physical Properties of Rocks and Minerals*. Hemisphere Publishing Corporation: New York, New York, 1989, p. 257–329.
- OLIVEIRA, J.F.; DELGADO, R.C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F.O.; SOUZA, J.C.; SOUZA, M. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. *Floresta e Ambiente*, v.21, p. 140-149, 2014.
- PAIXÃO, M. S. G.; PRADO, R. L.; DIOGO, L. A. Análise do emprego do GPR para estimar o teor de umidade do solo a partir de um estudo na cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 24, n. 2, p. 189-198, 2006.
- 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), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 1999 apud BARROS JÚNIOR, V. L. M. Utilização do Radar de Penetração em dois solos do Norte Fluminense. 2011. 63f. (Dissertação), Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2011.

QUARTO, R.; SCHIAVONE, D.; DIAFERIA, I. Ground penetrating radar of a prehistoric site in southern Italy. *Journal of Archaeology Science.*, v. 34, p. 2071–2080, 2007.

RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B; ARAÚJO FILHO, J.C. Caracterização morfológica do solo. In KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R; TORRADO, P.V. (Eds.). *Pedologia: fundamentos*, 1 ed.; SBCS: Viçosa, MG, 2015, p. 47 – 80.

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.

SEMENOV, V. M.; ZHURAVLEV, N. S.; TULINA, A. S. Mineralization of Organic Matter in Gray Forest Soil and Typical Chernozem with Degraded Structure due to Physical Impacts. *Soil Physics*, v. 48, p. 1136-1148, 2015.

SILVA, L. C.. *Geologia do Estado do Rio de Janeiro*. CPRM, DRM/RJ, 2001, 79f. Apud MONSORES, A. L. M.; NUMMER, A. R.; TUBBS FILHO, D. *Estudos Hidrogeológicos dos Aquíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu, Município de Seropédica/RJ*. São Paulo: ELETROBOLT, 2003. 177 p.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:213-220, 1997.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3.ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2017.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 373-380, 2002.

ZHANG, J.; LIN, H.; DOOLITTLE, J. Soil layering and preferential flow impacts on seasonal changes of GPR signals in two contrasting soils. *Geoderma*, v. 213, p. 560–569, 2014.

8. ANEXOS

ANEXO I – Descrições de campo dos perfis da Fazendinha

DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIL DA TOPOSSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P1

DATA - 05.04.2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE - Trincheira aberta no terço inferior da encosta.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazendinha Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - Imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Plano.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Roberto Pinheiro Junior, Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, João Antonio Montibeller Furtado e Silva, João Henrique Gaia Gomes, Jorge Luiz Heraclito de Mattos, Leonardo Durval Duarte Guimarães, Marcela Lópes Lazaro, Mateus Marques Bueno, Pedro Armentano Mudado Xavier e Wadson Menezes

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-10 cm, preto (7,5YR 2,5/1, úmida) e bruno (7,5YR 4/2, seca); franco argilo arenosa; forte, muito pequena a média, blocos subangulares e granular; macia; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- A2 10- 16 cm, cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmida) e bruno (7,5YR 4/2, seca); franco argilo arenosa; forte, muito pequena a pequena, blocos subangulares / grande, granular; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- BA 16-30 cm, bruno (7,5 YR 4/4), mosqueado abundante, pequeno a médio, distinto, cinzento (10YR 5/1); franco argilo arenosa; forte, pequena a muito pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- B1 30-54 cm, bruno forte (7,5 YR 5/8), mosqueado abundante, pequeno a médio, distinto, cinzento (10YR 5/1); franco argilo arenosa; forte, pequena a muito pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura; firme; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- B2 54-87 cm, coloração variegada constituída de bruno-amarelado (10 YR 5/8), cinzento (10R 6/1); franco argilo arenosa; forte, pequena a muito pequena, blocos subangulares; dura; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BC 87-115 cm, cinzento (N6/), mosqueado comum, grande, distinto, bruno-amarelado (5YR 5/6); franco argilo arenosa; moderado, pequena a média, blocos angulares; dura; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- CB 115-130 cm⁺, cinzento (N6/), mosqueado comum, grande, distinto, bruno-amarelado (5YR 5/6); franco arenosa; forte, pequena a média, blocos angulares; dura; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
- Obs. Raízes finas, muitas em A1 e A2, poucas em BA e B1 e raras em B2.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIL DA TOPOSSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P2

DATA - 12.04.2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE – Trincheira aberto no sopé da encosta.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazenda Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense – RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - Imperfeito a moderadamente drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Roberto Pinheiro Junior, Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, João Antonio Montibeller Furtado e Silva, João Henrique Gaia Gomes, Jorge Luiz Heraclito de Mattos, Leonardo Durval Duarte Guimarães, Marcela Lópes Lazaro, Mateus Marques Bueno, Pedro Armentano Mudado Xavier e Wadson Menezes

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-8 cm, cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida) e cinzento (5YR 5/1, seca); areia franca, fraca, pequeno a médio, granular; não plástica e não pegajosa; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 8-22 cm, cinzento-escuro (7,5YR 4/1, úmida) e cinzento (7,5YR 5/1, seca); areia; fraca, pequeno a médio, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- E 22-69 cm, bruno-acinzentado (10 YR 5/2); areia franca; grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bt1 69-92 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6); argila arenosa; moderado, muito pequeno a pequeno, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt2 92-133 cm, bruno(10YR 4/3); argila; forte, pequena a muito pequena, blocos angulares; ligeiramente

Bt3 dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.
133-155 cm⁺, bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4); argila arenosa; forte, pequena a muito pequena, blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.

Obs. Raízes finas, muitas em A, comuns em AE e poucas em E.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIL DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P3

DATA - 12.04.2016

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE - Trincheira aberta no terço inferior da encosta.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazendinha Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - Bem drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Roberto Pinheiro Junior, Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, João Antonio Montibeller Furtado e Silva, João Henrique Gaia Gomes, Jorge Luiz Heraclito de Mattos, Leonardo Durval Duarte Guimarães, Marcela Lópes Lazaro, Mateus Marques Bueno, Pedro Armentano Mudado Xavier e Wadson Menezes

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-10 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida) e cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, seca); franco argilo arenosa; forte, muito pequena a média, blocos subangulares e granular; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

E 10-26 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2, úmida) e cinzento-avermelhado-escuro (5YR 4/2, seca); franco argilo arenosa; forte, muito pequena a pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

- BA** 26-48 cm, bruno-avermelhado (5 YR 4/4); argila arenosa; forte, pequena a muito pequena, blocos sub angulares e angulares; ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- Bt1** 48-65 cm, vermelho-escuro (2,5 YR 3/6); argila arenosa; forte, pequena a muito pequena, blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- Bt2** 65-86 cm, vermelho-escuro (2,5 YR 3/6); argila; forte, pequena a muito pequena, blocos subangulares e angulares; ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara, cerosidade pouca e fraca.
- Bt3** 86-108 cm, vermelho-escuro (2,5 YR 3/6); muito argilosa; forte, pequena a muito pequena, blocos angulares; dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual; cerosidade abundante e moderada.
- Bt4** 108-147 cm, vermelho (2,5 YR 4/6); muito argilosa; forte, pequena a muito pequena, blocos angulares; dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara; cerosidade abundante e forte.
- Bt5** 147-164 cm⁺, vermelho (2,5 YR 4/6); muito argilosa; forte, pequena a muito pequena, prismática composta por blocos angulares; dura, firme, plástica e pegajosa; cerosidade abundante e forte.

Obs. Raízes finas, muitas em A e AB e poucas em BA e B1.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIS DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P4

DATA - 18.12.2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE - Trincheira aberta na baixada.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazendinha Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Plano.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, Marcos Baccis Ceddia e Pedro Vieira Cruz.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-15 cm, cinzento muito escuro (5YR 3/1, úmida) e cinzento (5YR 5/1, seca); areia franca; moderado, pequeno a médio, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- A2** 15-35 cm, cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida) e cinzento (5YR 6/1, seca), mosqueado pouco, pequeno, distinto, bruno-forte (7,5YR 4/6); areia franca; fraco, muito pequena a pequena, blocos subangulares e granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E** 35-57 cm, bruno (10YR 5/3, úmida) e cinzento-claro (7,5YR 7/1, seca), mosqueado pouco, pequeno, difuso, bruno-forte (7,5YR 4/6); areia franca; fraco, muito pequena a pequena, blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Btg1** 57-80 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2), mosqueado abundante, pequeno, distinto, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8); argila arenosa; moderado, pequena a médio, blocos angulares; muito dura, muito firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Btg2** 80-110 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2), mosqueado comum, médio, distinto, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8); franco argilo arenosa; superfície de compressão fosca; moderado, médio a grande, blocos angulares; muito dura, muito firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Btg3** 110-123 cm, bruno-acizentado (10YR 5/2), mosqueado comum, grande, difuso, amarelo-avermelhado (10YR 6/8); franco argilo arenosa; superfície de compressão fosca; forte, grande, blocos subangulares; extremamente dura, muito firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Cg** 123-140 cm+, cinzento-brunado-claro (10YR 6/2), mosqueado comum, médio, difuso, bruno-forte (10YR 5/8); franco argilo arenosa; maciça; extremamente dura, muito firme, plástica e ligeiramente pegajosa.
- Obs. Raízes finas, muitas em A e AB e poucas em BA e B1.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIS DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P5
DATA - 18.12.2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE – Trincheira aberta no sopé da encosta.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazendinha Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento e Pedro Vieira Cruz.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0-9 cm, cinzento-escuro (5YR 4/1, úmida) e cinzento (5YR 6/1, seca); areia franca; fraco, muito pequeno a pequeno, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E1** 9-24 cm, bruno (7,5YR 4/2, úmida) e cinzento-claro (7,5YR 7/1, seca); areia franca; fraco, pequena a médio, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E2** 24-38 cm, bruno (7,5YR 4/2, úmido) e cinzento-claro (7,5YR 7/1, seco), areia franca; fraco, muito pequena, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E3** 38-116 cm, bruno (10YR 5/2, úmida) e cinzento-claro (10YR 7/1, seca); areia franca; grão simples, solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- E4** 116-145 cm, bruno (10YR 5/2, úmida) e cinzento-claro (10YR 7/1, seca), mosqueado pouco, médio, difuso, bruno-forte (10YR 5/8); areia franca; grão simples, solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E5** 145-158cm, bruno (10YR 5/3), mosqueado comum, médio, difuso, bruno-forte (10YR 5/8); franco argilo arenosa; moderado, pequeno a médio, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bt** 158-172cm+, bruno (10YR 5/2), mosqueado comum, médio, difuso, bruno-forte (10YR 4/6); franco argilo arenosa; moderado, médio a grande, blocos angulares; ligeiramente dura, friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Obs.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIS DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P6

DATA - 18.12.2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE - Trincheira localizada na baixada.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazenda Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, Bruno Gomes de Moraes, Suelem Marques de Oliveira Durão, Júlio César Francisco Ferreira de Araujo Junior e Tércio da Silva Pacheco.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0-13 cm, cinzento muito escuro (7,5YR 3/1, úmida) e cinzento (7,5YR 5/1, seca); areia franca; moderado, pequeno a médio, granular; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE** 13-32 cm, bruno-acizentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno-acizentado (10YR 5/2, seca); areia; fraca, pequena a média, granular; macia, muito friável, não plástica e não

- pegajosa; transição plana e clara.
- E** 32-44 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida) e cinzento-claro (10YR 7/1, seca), mosqueado pouco, pequeno, difuso, amarelo-brunado (10YR 6/6); areia; grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- Btg1** 44-66 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2), mosqueado comum, pequeno, distinto, bruno-amarelado (10YR 5/8); franco argilo arenosa; moderado, médio, blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Btg2** 66-100 cm, bruno-acinzentado (10YR 5/2), mosqueado, abundante, grande, difuso, bruno-amarelado (10YR 5/6); argila; forte, médio, blocos angulares, dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Cg** 100-120+ cm, bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/3), mosqueado comum, médio, difuso, bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/6); argila arenosa; maciça; extremamente dura, muito firme, plástica e ligeiramente pegajosa.
- Obs. Raízes finas, muitas em A e finas, poucas em AB.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIS DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P7

DATA - 18.12.2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE - Trincheira aberta no sopé da encosta.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazendinha Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - imperfeitamente drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, Bruno Gomes de Moraes, Suelem Marques de Oliveira Durão, Júlio César Francisco Ferreira de Araujo Junior e Tércio da Silva Pacheco.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-7 cm, bruno-acizentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seca); areia franca; fraco, muito pequeno a pequeno, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- A2** 7-16 cm, bruno-acizentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca), mosqueado pouco, pequeno, difuso, bruno-amarelado (10YR 5/6); areia franca; fraco, pequena a médio, granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE** 16-26 cm, bruno (10YR 4/3, úmida) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca), mosqueado pouco, pequeno, difuso, bruno-amarelado (10YR 5/8); areia franca; grão simples, solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E1** 26-41 cm, bruno-acinzentado-escuro (2,5Y 4/2, úmida) e cinzento-brunado-claro (2,5Y 6/2, seca), mosqueado pouco, pequeno, distinto, bruno-amarelado (10YR 5/8); areia franca; grão simples e moderado, médio a grande, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E2** 41-52 cm, bruno-oliváceo (2,5Y 4/4, úmida) e bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/3, seca), mosqueado pouco, pequeno, distinto, bruno-amarelado (10YR 5/8); areia franca; grão simples e moderado, médio, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E3** 52-67 cm, bruno-oliváceo (2,5Y 4/4, úmida) e cinzento-brunado-claro (2,5Y 6/2, seca), mosqueado comum, médio, difuso, bruno-amarelado (10YR 5/8); areia franca; grão simples e moderado, médio a grande, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- BE** 67-97 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4), mosqueado comum, médio, distinto, vermelho-amarelado (7,5YR 6/8); franco arenosa; moderado, médio a grande, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- B1** 97-127 cm, bruno-acizentado (10YR 5/2), mosqueado comum, médio, difuso, bruno-amarelado (10YR 5/8); franco argilo arenosa; moderado, médio a grande, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- B2** 127-160 cm+, bruno (10YR 5/3), mosqueado comum, grande, proeminente, vermelho (2,5YR 4/8); franco argilo arenosa; moderado, médio a grande, blocos subangulares; ligeiramente dura, friável ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIS DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P8

DATA - 18.12.2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE - Trincheira no terço inferior da encosta.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazendinha Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - bem drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, Júlio César Francisco Ferreira de Araujo Junior e Tércio da Silva Pacheco.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0-23 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); franco arenosa; moderada, muito pequena, granular e moderada, média, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- AB** 23-53 cm, bruno-amarelado (10YR 5/3, úmida) e bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, seca); franco arenosa; moderado, médio, blocos subangulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- BA** 53-72 cm, cinzento (10YR 5/4); franco arenosa; moderado, pequeno a médio, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- Bt1** 72-89 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6); franco argilo arenosa; moderado, muito pequeno a médio, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; cerosidade moderado e comum.
- Bt2** 89-108 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8); argilo arenosa; moderado, muito pequena a

média, blocos subangulares, dura, muito friável, muito plástica e pegajosa; transição plana e clara; cerosidade moderado e pouco.

Bt3 108-137 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8), mosqueado pouco, médio, proeminente, bruno-forte (7,5YR 4/6); argila; moderado, muito pequeno a pequeno, blocos subangulares; dura, muito friável, ligeiramente pegajosa e plástica, transição plana e clara; cerosidade forte e comum.

Bt4 137-158+ cm, bruno-amarelado (10YR 5/8), mosqueado pouco, médio, proeminente, vermelho (2,5YR 4/6); argila; moderado, muito pequeno a pequeno, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa e plástica, transição plana e clara; cerosidade forte e abundante.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIS DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P9

DATA - 18.12.2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE - Trincheira no terço médio da encosta.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazenda Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - bem drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, Júlio César Francisco Ferreira de Araujo Junior e Tércio da Silva Pacheco.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0-9 cm, bruno (7,5YR 4/3, úmida) e bruno (7,5YR 5/3, seca); franco argila arenosa; forte, médio, granular; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- AB** 9-27 cm, bruno (7,5YR 4/4, úmida) e bruno (7,5YR 5/4, seca); franco argila arenosa; moderada, muito pequena a média, blocos subangulares e moderada, muito pequena a pequena, granular; dura, muito friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- BA** 27-45 cm, bruno (7,5YR 5/4); franco arenosa; moderado, pequeno, blocos angulares; muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bt1** 45-70 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6); franco argilosa; fraca, muito pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Bt2** 70-93 cm, vermelho (2,5YR 5/6); argila; forte, muito pequena a pequena, blocos angulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara;
- Bt3** 93-115 cm, vermelho (2,5YR 5/8); argila; forte, muito pequena a pequena, blocos angulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade forte e abundante.
- Bt4** 115-148⁺ cm, bruno-avermelhado (10R 5/6); argila; forte, muito pequena a pequena, blocos angulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade forte e abundante.



DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS DOS PERFIS DA TOPOSEQUÊNCIA DA FAZENDINHA AGROECOLÓGICA KM 47 - P10

DATA - 18.12.2017

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico nitossólico

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE – Trincheira aberta no topo do morro.

LOCALIZAÇÃO - Área de pasto da Fazenda Agroecológica do km 47, Município de Seropédica, Baixada Fluminense - RJ.

VEGETAÇÃO E USO ATUAL - Floresta tropical subperenifólia/Pastagem.

DRENAGEM - bem drenado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregoso.

ROCHOSIDADE - Não Rochosa.

EROSÃO - Laminar não aparente

RELEVO REGIONAL: Plano à ondulado.

RELEVO LOCAL - Suave ondulado.

CLIMA - Aw pela classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR - Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento, Júlio César Francisco Ferreira de Araujo Junior e Tércio da Silva Pacheco.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0-5 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/4, seca); argila arenosa; forte, pequeno, granular; ligeiramente dura, muito friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- A2** 5-11 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmida) e bruno-avermelhado (5YR 5/4, seca); argila; moderado, muito pequena a pequena, granular e moderado, muito pequena a pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara, cerosidade forte e comum.
- AB** 11-28 cm, vermelho (2,5YR 5/6); argila; moderada, muito pequena a pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; cerosidade forte e comum.
- BA** 28-42 cm, vermelho (2,5YR 5/6); argila; moderada, muito pequena a pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara; cerosidade moderada e comum.
- Bt1** 42-52 cm, vermelho (2,5YR 5/6); franco argilosa, forte, muito pequena a pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara; cerosidade moderada e abundante.
- Bt2** 52-93 cm, vermelho (2,5YR 5/6); argila, forte, muito pequena a pequena, blocos angulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara; cerosidade moderada e abundante.
- Bt3** 93-120 +, vermelho (2,5YR 4/6); argila, forte, muito pequena a pequena, blocos angulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade forte e abundante.



ANEXO II – Análise química dos perfis da Fazendinha

P1 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	----- cmol _c / dm ³ -----								-----% -----			1:2,5	g/kg	--- mg/L ---	
A1	284	0,111	1,8	1,3	0,24	12	0,4	3,45	15,45	22	10,38	1	5,3	5,5	12	94
A2	285	0,079	1,7	1	0,14	10,1	0,6	2,92	13,02	22	17,03	1	5,1	10,2	7	56
BA	288	0,083	1,1	0,7	0,04	6,7	1,6	1,92	8,62	22	45,47	1	4,7	9,5	3	14
B1	286	0,127	1,3	1,1	0,02	8,1	1,7	2,54	10,64	24	40,05	1	5	8,5	2	7
B2	287	0,294	1,7	1,3	0,02	6,7	1,5	3,31	10,01	33	31,17	3	4,8	8,6	1	7
BC	289	0,306	1,7	1,5	0,02	5,8	1,8	3,53	9,33	38	33,79	3	5,1	8,4	4	8
P2 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	----- cmol _c / dm ³ -----								-----% -----			1:2,5	g/kg	mg/L ---	
A	291	0,083	0,2	1	0,18	5,6	0,2	1,47	7,07	21	12,01	1	5,3	9,3	23	71
AE	292	0,087	1,1	0,6	0,11	3	0	1,9	4,9	39	0	2	5,6	6,3	10	44
E	296	0,087	0,6	0,4	0,07	1,5	0,1	1,16	2,66	44	7,93	3	5,4	8,6	2	29
Bt1	293	0,083	1,7	0,7	0,02	4,7	1,2	2,5	7,2	35	32,42	1	5,2	9,4	2	7
Bt2	294	0,083	1,2	0,8	0,02	5,6	1,1	2,1	7,7	27	34,39	1	4,9	9,2	1	6
Bt3	295	0,083	2,1	1	0,02	4,7	0,4	3,2	7,9	41	11,11	1	5,1	9,3	1	7
P3 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----								----- % -----			1:2,5	g/kg	--- mg/L ---	
A	297	0,079	4,7	3,3	0,33	6,9	0,1	8,41	15,31	55	1,16	1	5,3	11,7	9	128

E	298	0,079	4,5	2,2	0,09	6	0,1	6,87	12,87	53	1,43	1	5,6	3,3	3	37
BA	304	0,083	3,4	2,3	0,03	4,1	0	5,81	9,91	59	0	1	5,9	9,8	1	12
Bt1	299	0,083	3,2	1,5	0,02	3,7	0	4,8	8,5	56	0	1	5,8	9,8	ND	8
Bt2	300	0,083	3,5	1	0,02	3	0	4,6	7,6	61	0	1	5,8	9,7	ND	8
Bt3	301	0,099	3,4	3,3	0,01	1,5	0	6,81	8,31	82	0	1	6,1	9,0	2	5
Bt4	302	0,083	3,6	2	0,02	2,2	0	5,7	7,9	72	0	1	5,9	9,4	2	6
Bt5	303	0,079	4,9	1,5	0,02	1,9	0	6,49	8,39	77	0	1	6	9,1	2	6
P4 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----								----- % -----			1:2,5	g/kg	--- mg/L ---	
A1	145	0,062	1,5	1,0	0,10	7,9	0,2	2,66	10,56	25	5,337	1	5,7	7,7	35	39
A2	146	0,035	0,7	0,7	0,03	4,7	0,4	1,46	6,16	24	21,48	1	5,1	6,5	19	10
E	147	0,040	0,7	0,6	0,01	3,7	0,4	1,35	5,05	27	20,55	1	5,4	6,3	21	5
Btg1	148	0,309	2,1	1,9	0,02	12,7	4,4	4,33	17,03	25	50,13	2	5,0	3,2	16	7
Btg2	149	0,309	3,1	2,8	0,02	9,9	4,3	6,22	16,12	39	40,57	2	5,0	0,4	17	6
Btg3	150	0,353	4,2	4,1	0,03	9,9	4,0	8,69	18,59	47	31,26	2	5,1	4,5	17	14
Cg	151	0,397	5,5	5,3	0,40	8,6	3,3	11,60	20,20	57	21,89	2	4,9	6,2	17	156
P5 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico espessarênico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----								----- % -----			1:2,5	g/kg	--- mg/L ---	
A	152	0,035	1,4	0,8	0,14	2,8	0,0	2,37	5,17	46	0	1	5,5	1,4	41	53
E1	153	0,026	1,0	0,5	0,05	1,5	0,0	1,57	3,07	51	0	1	5,9	6,9	31	18

E2	154	0,026	1,0	1,0	0,07	1,1	0,0	2,09	3,19	66	0	1	6,1	6,9	24	26
E3	155	0,022	0,7	0,7	0,01	0,6	0,0	1,44	2,04	71	0	1	6,2	1,4	18	5
E4	158	0,035	0,7	0,6	0,02	0,7	0,0	1,36	2,06	66	0	2	6,1	1,8	30	9
E5	159	0,053	1,0	0,9	0,06	4,7	1,1	2,02	6,72	30	35,91	1	5,0	2,4	17	25
Bt	160	0,049	2,0	0,7	0,08	6,2	1,4	2,83	9,03	31	32,65	1	4,9	2,9	16	30
P6 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico gleissólico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----							----- % -----			1:2,5	g/kg	--- mg/L ---		
A	161	0,172	2,3	1,7	0,11	8,4	0,2	4,28	12,68	34	4,465	1	5,4	5,7	47	42
AE	162	0,044	1,0	1,0	0,02	3,7	0,4	2,06	5,76	36	14,51	1	5,0	2,6	22	7
E	163	0,044	1,1	1,0	0,01	2,1	0,5	2,15	4,25	51	17,28	1	5,0	6,2	21	4
Btg1	164	0,252	1,6	0,7	0,01	5,8	1,7	2,56	8,36	31	39,86	3	4,9	6,0	18	5
Btg2	165	0,794	4,7	4,6	0,04	14,4	5,4	10,13	24,53	41	34,55	3	4,9	6,5	15	16
Cg	166	0,971	6,5	6,3	0,04	14,2	6,2	13,81	28,01	49	30,98	3	4,7	3,9	16	16
P7 – PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----							----- % -----			1:2,5	g/kg	--- mg/L ---		
A1	167	0,053	2,6	2,4	0,09	6,9	0,3	5,14	12,04	43	5,516	0	5,2	12,7	87	33
A2	168	0,053	1,1	1,0	0,05	6,0	0,3	2,20	8,20	27	12,01	1	5,2	5,9	37	18
AE	169	0,053	1,0	0,8	0,02	4,9	0,3	1,88	6,78	28	11,75	1	5,2	5,1	17	9
E1	170	0,040	1,0	0,7	0,01	2,4	0,2	1,75	4,15	42	10,25	1	5,2	0,5	7	4
E2	171	0,044	0,9	0,8	0,01	1,9	0,4	1,75	3,65	48	16,63	1	5,0	6,8	9	4

E3	172	0,031	1,0	0,8	0,01	2,4	0,7	1,84	4,24	43	27,57	1	4,7	1,1	7	3
BE	173	0,053	1,4	1,1	0,01	4,7	0,9	2,56	7,26	35	24,92	1	4,9	1,3	6	3
Bt1	174	0,066	1,1	1,0	0,01	5,1	1,5	2,18	7,28	30	40,8	1	4,7	1,7	4	4
Bt2	175	0,057	1,3	1,0	0,01	4,3	1,2	2,37	6,67	35	33,09	1	4,9	3,9	7	3
P8 – ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----									---- % ----		1:2,5	g/kg	--- mg/L ---	
A1	176	0,035	3,6	3,1	0,10	5,8	0,0	6,84	12,64	54	0	0	5,8	16,1	146	40
A2	177	0,044	3,1	1,9	0,04	5,4	0,0	5,09	10,49	49	0	0	5,9	4,9	31	17
AB	178	0,035	1,7	1,5	0,02	3,9	0,0	3,26	7,16	46	0	0	5,8	4,4	6	8
BA	179	0,031	1,6	1,5	0,01	3,4	0,1	3,14	6,54	48	1,565	0	5,6	2,6	7	5
Bt1	180	0,053	1,9	1,9	0,01	3,0	0,0	3,87	6,87	56	0	1	5,4	3,3	4	5
Bt2	181	0,049	2,3	1,7	0,01	2,2	0,0	4,06	6,26	65	0	1	5,6	2,5	4	4
Bt3	182	0,044	3,1	1,0	0,01	1,3	0,0	4,16	5,46	76	0	1	6,2	3,8	4	5
Bt4	183	0,040	2,5	1,1	0,02	2,1	0,0	3,66	5,76	64	0	1	6,0	2,4	4	9
P9 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH _{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----									---- % ----		1:2,5	g/kg	--- mg/L ---	
A	184	0,071	2,3	2,0	0,10	5,8	0,0	4,47	10,27	44	0	1	5,6	14,4	6	37
AB	185	0,247	2,2	1,3	0,26	5,8	0,0	4,01	9,81	41	0	3	5,6	9,1	3	102
BA	186	0,199	1,7	1,1	0,14	6,2	0,1	3,14	9,34	34	3,086	2	5,4	6,1	2	55
Bt1	187	0,278	2,4	0,2	0,08	3,0	0,1	2,96	5,96	50	3,267	5	5,4	4,5	2	32

Bt2	188	0,265	2,6	1,0	0,05	2,1	0,0	3,92	6,02	65	0	4	5,6	5,7	2	20
Bt3	189	0,706	1,5	3,6	0,05	2,4	0,0	5,85	8,25	71	0	9	5,9	3,3	2	19
Bt4	190	0,706	1,7	3,3	0,05	2,1	0,0	5,75	7,85	73	0	9	5,9	1,9	2	19
P10 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico nitossólico																
Horizonte	Nº	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	n	pH_{água}	Corg	P	K
	Labfer	-----cmol _c / dm ³ -----								----- % -----			1:2,5	g/kg	--- mg/L ---	
A1	191	0,618	2,9	2,1	0,48	8,6	0,1	6,10	14,70	41	1,613	4	5,4	13,8	5	187
A2	192	0,618	1,9	2,0	0,02	7,3	0,1	4,53	11,83	38	2,158	5	5,4	15,0	3	6
AB	193	0,177	1,0	1,5	0,10	5,6	0,2	2,78	8,38	33	6,71	2	5,1	14,0	2	41
BA	194	0,128	1,0	2,0	0,08	4,9	0,2	3,21	8,11	40	4,463	2	5,1	6,6	2	32
Bt1	195	0,119	1,0	1,3	0,05	3,7	0,1	2,47	6,17	40	3,895	2	5,1	4,9	2	19
Bt2	196	0,190	0,9	2,0	0,07	4,9	0,2	3,16	8,06	39	4,529	2	5,1	1,0	2	28
Bt3	197	0,168	0,4	2,7	0,04	2,1	0,0	3,31	5,41	61	0	3	5,5	3,8	2	17