



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**ESTUDO DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO DE
QUISSAMÃ (RJ) COM BASE EM REFLEXÃO POR ONDAS DE
RADAR E SONDAGENS**

Relatório de Estágio de Campo IV-D

Aluna: *Paula de Freitas Santos*

Orientador: *Prof. Dr. Claudio Limeira Mello*

Fevereiro de 2004

ESTUDO DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO DE
QUISSAMÃ (RJ) COM BASE EM REFLEXÃO POR ONDAS
DE RADAR E SONDAGENS

Paula de Freitas Santos

Monografia submetida ao curso de graduação em geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito obrigatório da disciplina “Estágio de campo IV”

Setor: Paleontologia e Estratigrafia

Orientador: Claudio Limeira Mello

Aprovada por:

Orientador: Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Prof. Dr. Claudio Gerheim Porto

Prof. Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, Paula de Freitas

*ESTUDO DA FORMAÇÃO BARREIRAS NA REGIÃO DE QUISSAMÃ (RJ)
COM BASE EM REFLEXÃO POR ONDAS DE RADAR E SONDAGENS.* [RIO DE JANEIRO]
2004.

vi; 51 p; 29,7 cm (Instituto de Geociências – UFRJ, Curso de Graduação em Geologia, 2004).

Monografia Final de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no Instituto de Geociências.

1 – Cenozóico

2 – Formação Barreiras

3 – Radar de Penetração no Solo (*GPR*)

I - IG

II - Título

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo em subsuperfície dos depósitos da Formação Barreiras na região de Quissamã, norte do Estado do Rio de Janeiro, através de uma comparação de seções de reflexão por ondas de radar com perfis litológicos obtidos em furos de sondagens. Numa primeira etapa de trabalho, foram realizados levantamentos geofísicos utilizando-se o sistema de *GPR pulseEkko IV* e antenas de 50 MHz, e investigadas quatro seções de *GPR* (Q-10, Q-12, Q-13 e Q-21), pelo modo de reflexão. Estas seções foram adquiridas através de caminhamento contínuo ao longo das linhas de prospecção, com um espaçamento de 2 m entre as antenas e intervalo de amostragem a cada 0,5 m. Para o cálculo das velocidades de transmissão das ondas de radar em subsuperfície foi utilizado o modo *CMP*, no qual as antenas de 50 MHz foram afastadas de 40 cm em 40 cm, até atingirem um afastamento de 20 m. Para cada uma das linhas de radar realizadas, foi efetuado o levantamento topográfico, utilizando-se trena e nível, de forma a permitir a correção da superfície do terreno. Após a correção topográfica, as linhas de *GPR* foram interpretadas utilizando-se *overlays* e as feições de radar (radarfácies) principais foram delineadas. Assim como ocorre com os levantamentos sísmicos, que fornecem os sismogramas, o *GPR* é uma ferramenta de prospecção geofísica que fornece uma imagem dos estratos em subsuperfície (radargrama), baseada nos padrões de reflexão que estes apresentam. Desta maneira, os princípios utilizados para a interpretação de dados de levantamentos sísmicos, a sismoestratigrafia, foram aplicados aos levantamentos por reflexão de ondas de radar. Com base na interpretação das linhas de *GPR* e de acordo com os padrões de reflexão de radar identificados, foram selecionados pontos para a realização de oito furos de sondagens, utilizando-se um trado mecânico, numa segunda etapa de trabalho. Estes furos tiveram como objetivo a descrição dos materiais em subsuperfície e sua correlação com os seus respectivos padrões de

reflexão. A interpretação dos radargramas resultou na identificação de três unidades de radar, que foram correlacionadas a três unidades estratigráficas, definidas a partir de furos de sondagens: (i) os depósitos da Formação Barreiras, caracterizados por ciclos arenosos granodecrescentes, com grau variável de ferruginização, camadas pouco espessas de lamitos argilosos e presença de cascalhos na base, foram associados a um padrão de refletores ondulados, mais ou menos contínuos, de aspecto entrecruzado, com geometrias côncavas para cima (unidade de radar I); (ii) os sedimentos pós-Barreiras, caracterizados por areias castanho-amareladas a castanho-avermelhadas, finas a grossas, argilosas e com grânulos, foram associados a padrões de refletores contínuos, paralelos, às vezes pouco irregulares, que acompanham a superfície do terreno (unidade de radar II); (iii) as rochas do embasamento, descritas como material argilo-siltico a areno-argiloso, de cores variegadas, micáceo, às vezes com muitos grânulos de quartzo, mosqueado e com presença de concreções ferruginosas, apresentaram um padrão de refletores marcado por feições de hipérbolas, convexas para cima, ou refletores fortemente inclinados, paralelos, às vezes cruzados em “X” (unidade de radar III). Os resultados obtidos mostram que a técnica de prospecção por reflexão de ondas de radar (*GPR*) com antenas de frequência igual a 50MHz empregada neste estudo forneceu resultados satisfatórios, permitindo a obtenção de imagens contínuas e de boa resolução para as interpretações e etapas seguintes do trabalho; o trado mecânico demonstrou ser um instrumento adequado para a caracterização dos materiais em subsuperfície aqui estudados, permitindo a descrição e perfilagem até alcançar o embasamento, exceto quando o lençol freático foi atingido antes, o que dificultava ou mesmo impediu a recuperação dos materiais perfurados. Os sedimentos da Formação Barreiras descritos neste estudo podem ser interpretados como depósitos de canais fluviais, com pouca participação de sedimentos suspensivos ou por fluxos gravitacionais, concordando com interpretações anteriores para depósitos aflorantes na região de Quissamã.

SUMÁRIO

RESUMO	i
AGRADECIMENTOS	v
I. INTRODUÇÃO	1
II. OBJETIVOS	3
III. ÁREA DE ESTUDO	3
III.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	3
III.2 - GEOMORFOLOGIA	5
III.3 - GEOLOGIA REGIONAL	7
III.3.1 - <i>Embasamento Pré-Cambriano</i>	7
✓ Complexo Região dos Lagos	7
✓ Complexo Paraíba do Sul	9
III.3.2 - <i>Unidades Cenozóicas</i>	10
✓ Formação Barreiras	10
✓ Sedimentos Quaternários	12
IV. MÉTODOS E TÉCNICAS	13
IV.1 - PROSPECÇÃO GEOFÍSICA POR RADAR	13
IV.1.1 - <i>Conceitos básicos</i>	13
IV.1.2 - <i>Aquisição de Dados</i>	16
IV.1.3 - <i>Processamento dos dados</i>	17
IV.1.4 - <i>Interpretação dos radargramas</i>	18
IV.2 - SONDAGEM A TRADO	21
V. RESULTADOS	24
V.1 - UNIDADES DE RADAR	24
✓ Unidade de Radar I	24
✓ Unidade de Radar II	24
✓ Unidade de Radar III	24
V.2 - SEÇÃO Q-10	25
V.3 - SEÇÃO Q-12	31
V.4 - SEÇÃO Q-13	38
V.5 - SEÇÃO Q-21	43
VI. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, destacando as localidades investigadas. Fonte: http://www.cide.rj.gov.br/ , acessada em 09/02/2004.	4
Figura 2: Mapa geomorfológico abrangendo a área de estudo. Fonte: DANTAS (2000– CPRM/DRM, modificado).	6
Figura 3: Mapa geológico abrangendo a área de estudo. Fonte: SILVA & CUNHA (2001 – CPRM/DRM, modificado).	8
Figura 4: Seção Fazenda Batalha e perfil faciológico, mostrando a geometria das camadas e as fácies sedimentares identificadas (MORAIS, 2001).	11
Figura 5: Diagramas representativos da prospecção por GPR. Modificado de ANNAN (1992).	14
Figura 6: Ilustração dos três modelos básicos de operação do GPR. Modificado de ANNAN, 1992.	15
Figura 7: Terminação dos refletores em uma seqüência de estratos (MITCHUM <i>et al.</i> , 1977).	19
Figura 8: Padrões de reflexão progradantes. Modificado de MITCHUM <i>et al.</i> , 1977 (<i>in</i> MADEIRA, 2002).	20
Figura 9: Padrões de configuração de refletores não-progradacionais. Modificado de MITCHUM <i>et al.</i> , 1977 (<i>in</i> MADEIRA, 2002).	21
Figura 10: Funcionamento do trado mecânico.	22
Figura 11: Extração do material amostrado.	23
Figura 12: Seção Q-10; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.	26
Figura 13: (a) Perfil do afloramento descrito; (b) Sondagem Q10-S1.	29
Figura 14: Sondagem Q10-S2.	30
Figura 15: Sondagem Q10-S3.	30
Figura 16: Seção Q-12; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.	32
Figura 17: Seção Fazenda Trindade.	33
Figura 18: Sondagem Q12-S1.	36
Figura 19: Sondagem Q12-S2.	37
Figura 20: Seção Q-13; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.	40
Figura 21: Sondagem Q13-S1.	41
Figura 22: Sondagem Q13-S2.	42
Figura 23: Seção Q-21; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.	45
Figura 24: Sondagem Q21-S1.	46

AGRADECIMENTOS

No decorrer das minhas atividades acadêmicas contei com o apoio de várias pessoas, a quem dedico os meus mais sinceros agradecimentos.

Aos meus pais *Amaury Bandeira dos Santos* e *Nair de Freitas Santos*, pela confiança creditada em mim e pelo amor incondicional em todas as etapas da jornada de minha vida.

À minha avó e segunda mãe, *Estelita Fernandes Pacheco*, por toda paciência, companheirismo e extrema dedicação durante todos esses anos.

À minha “irmã” *Jeane de Lima Araújo* e ao meu “amigo” *Carlos Eduardo Mendes*, pelos momentos de alegria e descontração vividos.

Ao meu mestre e orientador *Prof. Dr. Claudio Limeira Mello*. Mestre nos ensinamentos acadêmicos e orientador em outras tantas ocasiões, mostrando-me os caminhos adequados a seguir, contribuindo com o meu amadurecimento profissional e lembrando-me que “– *A questão é doutrinar o pensamento do homem para o seu objetivo*”. Agradeço a oportunidade de trabalhar em seu grupo, a sua extrema paciência comigo e a sua amizade.

Ao *Prof. Dr. Ronaldo Gonçalves*, que através de suas aulas despertou em mim o interesse pela sedimentologia e estratigrafia.

Ao *Prof. Dr. Claudio G. Porto*, pela oportunidade de atuar no projeto de minerais pesados em Quissamã, pela orientação nas etapas de campo deste trabalho e por sua amizade.

Ao geólogo *Ivar Aptin*, pelo apoio e convivência nos trabalhos de campo.

Ao *Prof. Dr. Leonardo Borghi*, sempre pronto a nos ajudar e a nos fornecer “aquele *paper*” que estava faltando para a conclusão do trabalho.

Aos técnicos *Joseilson Rodrigues da Silva* e *Aldemir França Ferreira* (Laboratório de Geografia Física – IGEO/UFRJ), mestres na arte de manusear o trado mecânico e indispensáveis nos trabalhos de campo.

Aos motoristas *Amaro Ramalho* (IGEO/UFRJ) e *Carlos Alberto* (*Garagem central/UFRJ*), pelo apoio nas atividades de campo.

Aos colegas do grupo de pesquisa: *Ana Paula Barroso de Albuquerque, Erick Alves Thomaz, Fábio de Oliveira Costa, Helen Belfort Rodrigues, Isabela de Oliveira Carmo, Leonardo Corrêa Gomes, Marcel de Souza Romero Sanson, Raphael Siston Hatushika e Rute Maria Oliveira de Moraes*, pelo companheirismo sempre. Em especial aos amigos do “Barreiras”, Rute e Fábio, e a Ana Paula e Helen, pelo apoio na etapa final de realização deste trabalho.

As colegas de turma e amigas incondicionais, *Janaina Andrade de Lima e Camila Faria Albuquerque*, e a todos da turma 99, que me receberam com muito carinho.

Ao *CNPq* e a *UFRJ*, pela bolsa de iniciação científica que muito me ajudou no desenvolvimento das minhas atividades acadêmicas nesses últimos três anos.

E a *Deus* por mais esta etapa vencida, junto de vocês.

A todos vocês, meu **MUITO OBRIGADA!**

I. INTRODUÇÃO

Sob a denominação de Formação Barreiras, são reunidos sedimentos cenozóicos de origem continental, arenosos e argilosos, de cores variegadas, que se distribuem ao longo do litoral brasileiro desde o Pará até o Rio de Janeiro.

O termo Barreiras foi utilizado inicialmente por BRANNER (1902, *apud* VIEIRA *et al.*, 1994) para designar os tabuleiros formados por sedimentos inconsolidados ou pouco consolidados que ocorrem na faixa costeira atlântica. Este termo foi utilizado pela primeira vez, em sentido estratigráfico, por OLIVEIRA & ANDRADE (1956, *apud* VIEIRA *et al.*, 1994) e formalizado por VIANNA *et al.* (1971, *apud* VIEIRA *et al.*, 1994). Os principais constituintes litológicos são conglomerados polimíticos, arcóseos de cores variadas e, secundariamente, argilitos e folhelhos.

No sudeste do Brasil, os sedimentos atribuídos à Formação Barreiras foram muito pouco estudados, e estendem-se desde o litoral norte do Espírito Santo até a região dos Lagos, no Rio de Janeiro.

No Estado do Espírito Santo, estes depósitos foram estudados por AMADOR & DIAS (1978), AMADOR (1982) e TAMARA (1995).

No estado do Rio de Janeiro, os sedimentos Barreiras foram estudados recentemente por MORAIS (2001), que interpretou os depósitos encontrados na região Norte Fluminense como relacionados a ambiente fluvial entrelaçado arenoso distal, podendo variar para um modelo fluvial entrelaçado arenoso de alta energia, com fluxos gravitacionais associados. Na região dos Lagos, esta autora associou sua deposição a um ambiente fluvial entrelaçado dominado por cascalhos, com maior participação de fluxos gravitacionais.

Para um melhor entendimento estratigráfico da Formação Barreiras no sudeste do Brasil, MORAIS (2001) sugeriu o desenvolvimento de estudos de subsuperfície e uma expansão da área de estudo em superfície para o Espírito Santo.

Para o desenvolvimento de estudos de subsuperfície, técnicas de levantamentos geofísicos podem ser satisfatoriamente empregadas,

considerando os estudos em depósitos cenozóicos realizados, entre outros, por MADEIRA *et al.* (1997a, 1997b) e MADEIRA (2002). Estes autores aplicaram o radar de penetração subterrânea (*GPR*) em sedimentos cenozóicos com características similares às aquelas apresentadas pela Fm. Barreiras, demonstrando uma boa qualidade de penetração das ondas de radar frente ao objetivo de identificar as principais relações estratigráficas nos depósitos estudados. METELO (1998), estudando o preenchimento sedimentar de paleovales fluviais na região do médio vale do rio Doce (MG), também mostrou a possibilidade de se correlacionar resultados de técnicas de levantamentos geofísicos (*GPR*) com descrições do material sedimentar aflorante.

A técnica de propagação de ondas de radar pode, dessa maneira, ser uma ferramenta importante para os estudos em subsuperfície da Formação Barreiras, devendo ser correlacionada a descrições do material através de furos de sondagem, permitindo uma melhor caracterização desta unidade estratigráfica.

O radar de penetração subterrânea (*GPR*), também conhecido como radar de subsuperfície ou georadar, é uma técnica eletromagnética de exploração geofísica relativamente nova que vem se difundindo com o uso em mapeamento de feições estratigráficas, estruturas geológicas e localização de objetos enterrados, como tubulações de óleo/gás com vazamentos em subsuperfície. Além disso, o *GPR* também tem sido usado com sucesso na identificação de aquíferos subterrâneos, localização de cavidades de dissolução ou túneis em subsuperfície e numa enorme gama de novas aplicações, como investigações arqueológicas e detecção de material bélico não-ferrífero (HARARI, 1996).

Através de radargramas, o *GPR* fornece resultados de alta resolução que podem ser interpretados sob o ponto de vista geológico. Estas interpretações contribuem para a indicação de pontos mais adequados para a execução de estudos mais detalhados e, quando enfocam relações estratigráficas dos corpos em subsuperfície, contribuem com as interpretações paleoambientais.

II. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo em subsuperfície dos depósitos da Formação Barreiras na região de Quissamã, norte do Estado do Rio de Janeiro, através de uma comparação de seções de reflexão por ondas de radar com perfis litológicos obtidos em furos de sondagens.

Buscou-se dar continuidade ao trabalho desenvolvido por MORAIS (2001) e, desta forma, contribuir para uma melhor caracterização dos depósitos da Formação Barreiras no Sudeste do Brasil.

A escolha da região de Quissamã deveu-se ao fato de este trabalho estar inserido no projeto “Estudo de minerais pesados na região de Quissamã, RJ”, desenvolvido em cooperação pelo Departamento de Geologia da UFRJ e o DRM/RJ. Neste projeto, buscou-se estudar a distribuição de minerais pesados nos depósitos cenozóicos da região, sendo a Fm. Barreiras uma das unidades de interesse.

III. ÁREA DE ESTUDO

III.1 - Localização e Acessos

A área selecionada para este estudo situa-se na região Norte Fluminense, no município de Quissamã. As principais vias de acesso à área de estudo são as rodovias BR-101 e RJ-196, além de estradas secundárias que ligam a sede do município a distritos e fazendas.

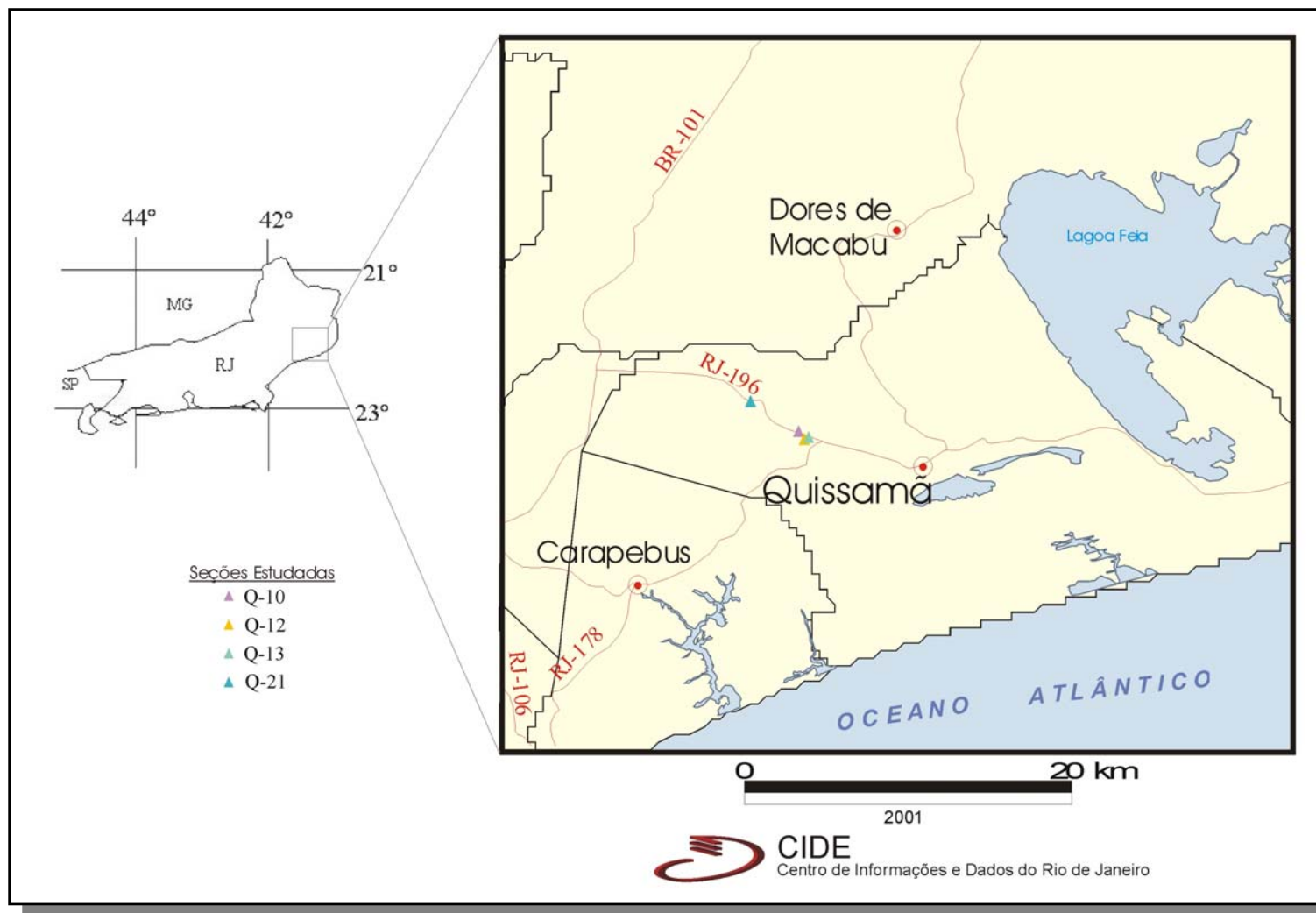


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, destacando as localidades investigadas. Fonte: <http://www.cide.rj.gov.br/>, acessada em 09/02/2004.

III.2 - Geomorfologia

Em termos geomorfológicos, ocorrem na área de interesse três unidades principais, assim reconhecidas por MARTIN *et al.* (1997):

- região serrana: esculpida sobre substrato de rochas cristalinas pré-cambrianas, exibe um relevo mais acidentado, drenado por uma rede hidrográfica densa, de caráter dendrítico;

- platô terciário: formado pelos sedimentos continentais da Formação Barreiras, cuja superfície é suavemente inclinada para o mar. Apresenta-se dissecado por uma rede hidrográfica subparalela, caracterizada freqüentemente pela presença de amplos vales profundos, aplainados, atualmente colmatados por sedimentos quaternários.

- planície quaternária: forma uma área plana, mais baixa das três unidades geomorfológicas, cujo desenvolvimento é bastante variável na área estudada, incluindo sedimentos de origem marinha, fluvial, flúvio-lagunar, eólica e coluvionar, acumulados durante o Quaternário.

De acordo com o mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro (DANTAS, 2000 – figura 2), as feições de relevo na região podem ser divididas nas categorias de: i) relevos de agradação continentais e litorâneos; e ii) relevos de degradação sobre depósitos sedimentares (tabuleiros) e sobre rochas cristalinas pré-cambrianas (diversos domínios colinosos).

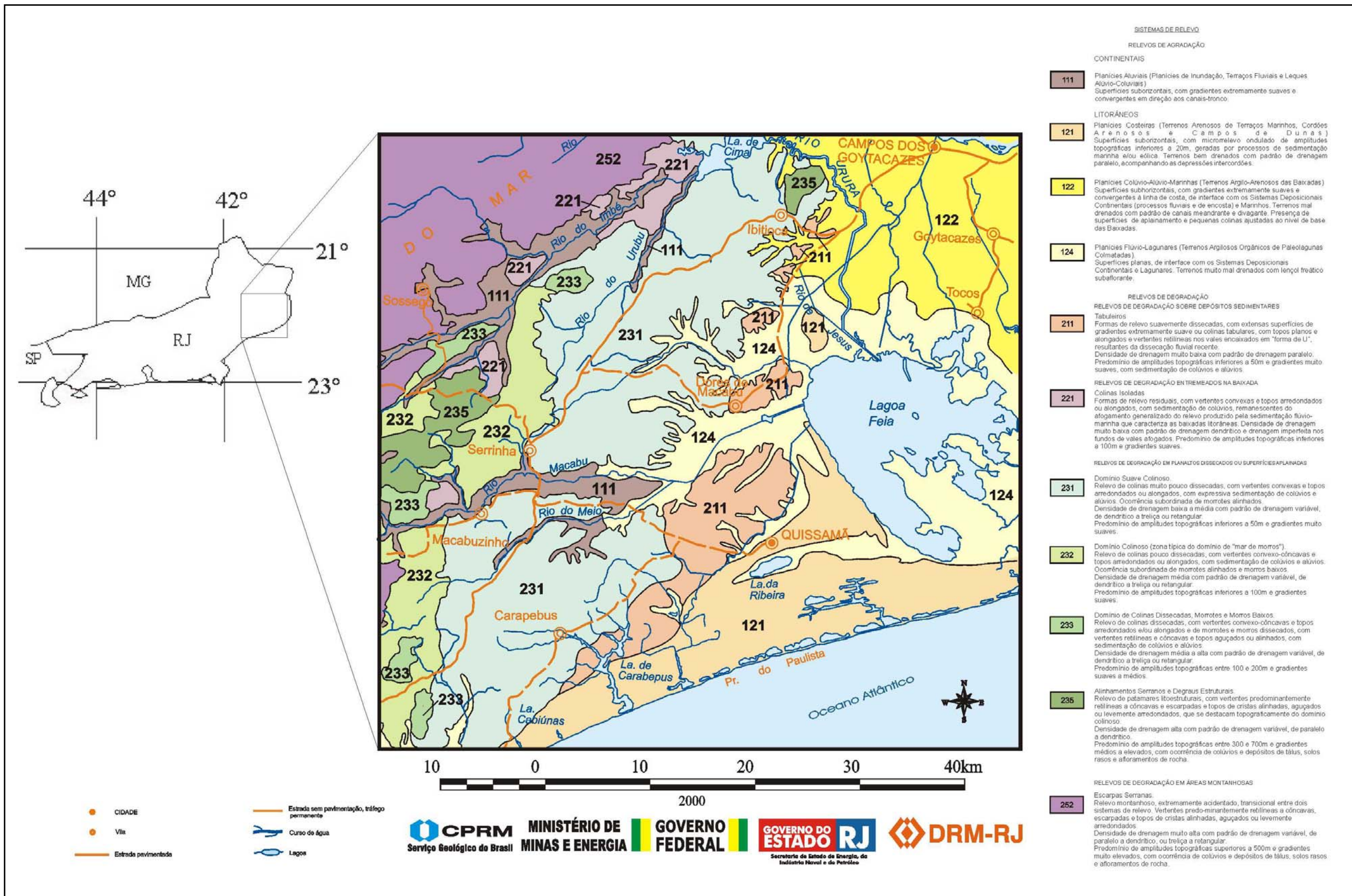


Figura 2: Mapa geomorfológico abrangendo a área de estudo. Fonte: DANTAS (2000– CPRM/DRM, modificado).

III.3 - Geologia Regional

Em termos geológicos, a área estudada está inserida no domínio do Cinturão Móvel Atlântico (MACHADO FILHO *et al.*, 1983), uma faixa móvel brasileira resultante da tectônica compressiva do final do Proterozóico/início do Paleozóico. Nesta unidade geotectônica do embasamento pré-cambriano, são reconhecidas diversas litologias relacionadas a rochas metamórficas de alto grau, com o marcante predomínio de gnaisses diversos e migmatitos, e corpos de rochas granitóides interpostos. Ocorrem, ainda, lentes de quartzitos, rochas calcissilicáticas, anfíbolitos e metabasitos (figura 3).

Segundo SILVA & CUNHA (2001), na área de estudo afloram rochas pré-cambrianas relacionadas aos complexos Região dos Lagos, Búzios e Paraíba do Sul, além de corpos de rochas granitóides sintectônicos e pós-tectônicos, e rochas intrusivas mesozóicas. Estas unidades são recobertas por sucessões sedimentares terciárias (Formação Barreiras) e quaternárias.

III.3.1 - Embasamento Pré-Cambriano

✓ *Complexo Região dos Lagos*

De acordo com SILVA & CUNHA (2001), esta unidade constitui-se de ortognaisses bandados/dobrados, cinzentos, de composição tonalítica a granítica, com abundantes paleodiques anfíbolíticos deformados. Petrograficamente, correspondem a biotita-plagioclásio-microclina ortognaisses tonalíticos a graníticos, com variações portadoras de hornblenda. São porfiróides, foliados, metamorfizados na fácies anfíbolito. Em alguns locais, encontram-se parcialmente fundidos, com geração de venulações graníticas sintectônicas à deformação regional. Segundo os mesmos autores, este complexo situa-se no intervalo paleoproterozóico.

✓ *Complexo Paraíba do Sul*

Segundo SILVA & CUNHA (2001), o Complexo Paraíba do Sul é dividido em 3 (três) unidades informais: São Fidélis, Italva e Itaperuna. A região considerada no trabalho aqui desenvolvido está situada numa faixa onde as litologias que ocorrem estão associadas à unidade São Fidélis, que denomina uma seqüência metassedimentar, predominantemente pelítica, de alto grau metamórfico, que ocorre acompanhando a costa leste do Estado do Rio de Janeiro. É uma seqüência formada predominantemente por gnaisses bandados e migmatitos diversos. Ocorrem ainda pequenas lentes calcissilicáticas, raríssimos bancos quartzíticos, além de tipos litológicos ortoderivados, nitidamente minoritários, sob a forma de lentes, blocos ou grandes *boudins*, englobados pelos gnaisses. Ocorrem ainda leptinitos, que são gnaisses finos, hololeucromáticos, de bandamento pouco desenvolvido, constituídos de microclina, quartzo, plagioclásio, sillimanita e, raramente e em menor quantidade, biotita, granada e cordierita.

Em algumas regiões, pode-se notar diversas formas de passagens dos tipos de gnaisses bandados para os tipos porfiroblásticos e subfacoidais. Estes gnaisses são de granulação média a grossa, textura granoblástica, inequigranular, amebóide, por vezes com cristais xenoblásticos/poiquiloblásticos de granada. A mineralogia deles é constituída por biotita, quartzo, plagioclásio, microclina e ortoclásio. Como minerais secundários aparecem zircão, magnetita, monazita, espinélio e grafita.

Para FONSECA *et al.* (1998), o Complexo Paraíba do Sul constitui-se de rochas de diversos tipos e origens, orto e paraderivadas, tais como gnaisses pelíticos de alto grau (kinzigitos), biotita-plagioclásio gnaisses, microclina gnaisses, quartzitos, mármore, calcissilicáticas, metabasitos, gnaisses granitóides e facoidais, migmatitos de diversos tipos. Todas estas litologias podem estar associadas ou transformadas em rochas cataclásticas, exibindo diversos graus de transformações. Ocorrem também, muito raramente, membros da suíte charnockítica.

Ainda para este mesmo autor, o Complexo Paraíba do Sul deriva de uma seqüência sedimentar pelítico-psamítico-carbonática, com contribuição vulcânica.

III.3.2 - Unidades Cenozóicas

✓ *Formação Barreiras*

A maior expressão destes depósitos no Estado do Rio de Janeiro ocorre na região do complexo deltaico do rio Paraíba do Sul, onde formam o limite W da planície costeira, particularmente a norte da foz do rio Paraíba do Sul. Na região estudada, os depósitos da Formação Barreiras (referidos no mapa da figura 3 como “Grupo”) afloram na região entre Carapebus e Quissamã.

A Formação Barreiras na região é constituída por sedimentos mal selecionados, siltosos a arenosos, apresentando forte mosqueamento, com cores que variam desde branco acinzentado a vermelho arroxeadado. São camadas de espessuras variáveis, com intensa ferruginização.

MARTIN *et al.* (1997) admitem que a sedimentação “Barreiras” teria ocorrido provavelmente durante o Plioceno, em ambientes de leques aluviais, sob clima semi-árido, sujeito a chuvas esporádicas torrenciais.

Investigando os depósitos da Formação Barreiras aflorantes no Estado do Rio de Janeiro, MORAIS (2001) estudou uma seção próxima à cidade de Dores de Macabu (seção Fazenda Batalha), na estrada de acesso a Quissamã (figura 4). Os depósitos descritos por esta autora nesta localidade são compostos, predominantemente, por sedimentos arenosos, com níveis de cascalho, intercalados com sedimentos lamosos pouco espessos. Em geral, as camadas arenosas apresentam-se com geometrias de lentes extensas a subtabulares e espessuras de 60 cm a 1 metro. A cor destes depósitos é branca-acinzentada, com forte mosqueamento vermelho-arroxeadado.

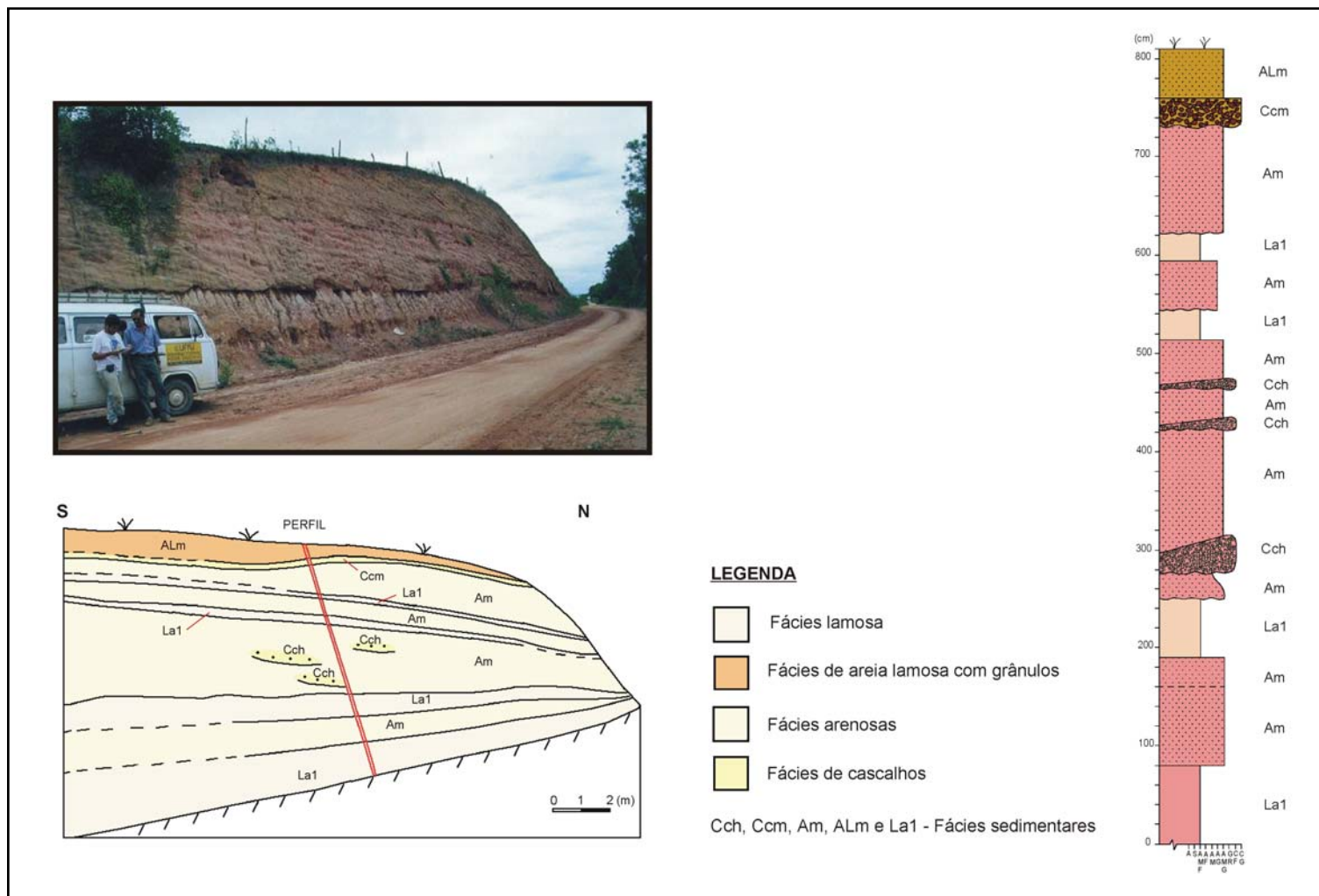


Figura 4: Seção Fazenda Batalha e perfil faciológico, mostrando a geometria das camadas e as fácies sedimentares identificadas (MORAIS, 2001).

✓ *Sedimentos Quaternários*

A sedimentação quaternária na porção oriental do estado do Rio de Janeiro está bem representada, principalmente, na faixa costeira, particularmente na Região dos Lagos e no complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul (SILVA & CUNHA, 2001). De acordo com MARTIN *et al.* (1997), os depósitos quaternários marinhos ocorrem associados a terraços arenosos pleistocênicos e holocênicos, marcados por alinhamentos de cristas praias.

Os depósitos de terraços marinhos pleistocênicos são representados por sedimentos superficialmente brancos e comumente acastanhados em profundidade, devido à impregnação por matéria orgânica, situados a altitudes entre 8 a 10m acima do nível do mar, declinando rumo ao mar. Na área aqui estudada, os depósitos marinhos pleistocênicos estão bem desenvolvidos entre Barra do Furado e Macaé.

Os terraços marinhos holocênicos ocorrem em altitudes mais baixas, sendo bastante expressivos próximo às desembocaduras fluviais mais importantes. Podem conter grandes quantidades de conchas, não sendo impregnados por ácidos húmicos e exibindo alinhamentos de cristas praias mais contínuos e pouco espaçados (Martin *et al.*, 1997).

Nas zonas baixas, separando terraços arenosos pleistocênicos e holocênicos ou nos cursos inferiores de grandes vales não preenchidos por sedimentos fluviais, ocorrem sedimentos silticos e/ou areno-argilosos ricos em matéria orgânica, podendo freqüentemente conter grande quantidade de conchas de moluscos de ambientes lagunares (MARTIN *et al.*, 1997).

Ao longo dos vales dos principais cursos fluviais que drenam a região estudada, ocorrem depósitos coluviais e aluviais. Os depósitos coluviais apresentam normalmente constituição argilo-arenosa a areno-argilosa, sendo identificados nas meias-encostas inferiores de morros do tipo meia-laranja, associados a linhas de pedra (SILVA & CUNHA, 2001). Os depósitos aluviais são constituídos de argila, argila siltica, silte arenoso, silte, areia quartzosa, eventualmente conglomeráticos (SILVA & CUNHA, 2001).

IV. MÉTODOS E TÉCNICAS

IV.1 - Prospecção Geofísica por Radar

IV.1.1 - Conceitos básicos

Ground Penetrating Radar (GPR) é um termo aplicado a técnicas que empregam ondas eletromagnéticas de alta frequência (10-100 MHz) no mapeamento de estruturas e feições em subsuperfície (DAVIS & ANNAN, 1989).

O *GPR* usa pulsos curtos de energia eletromagnética (ondas de rádio), que se propagam no solo depois de emitidos por uma antena transmissora colocada na superfície do terreno. Ao mesmo tempo, uma antena receptora detecta as ondas que são refletidas a partir de superfícies em subsolo quando o pulso transmitido encontra, em subsuperfície, uma interface ao longo da qual existe um contraste de impedância eletromagnética¹. O atraso entre o pulso transmitido e a chegada da reflexão é proporcional à profundidade da feição em subsuperfície que gerou a reflexão (figura 5).

Embora a prospecção com *GPR* utilize ondas eletromagnéticas para a investigação de materiais em subsuperfície, as propriedades elétricas tendem, em meios geológicos, a ser os fatores dominantes que controlam as respostas do *GPR*, enquanto que as variações magnéticas são mais fracas (MADEIRA, 2002).

Um sistema típico de *GPR* compreende uma unidade de controle, geradora de um pulso eletromagnético curto, e transmissores/receptores (antenas eletrônicas transmissoras e receptoras), que são usados para converter o pulso elétrico em um pulso eletromagnético de radiofrequência (bandas VHF e UHF) e transmitir isto ao solo, ou receber. Os sinais recebidos podem ser inseridos em uma unidade de *display* gráfico e interpretados imediatamente no campo, ou digitalizados e armazenados em uma fita

¹ Impedância eletromagnética (Z) é considerada como a resistência de um material à passagem da onda eletromagnética, sendo dada por: $Z = \omega\mu/k$, onde ω é a velocidade angular, μ é a permeabilidade magnética e k é o número de onda (MADEIRA, 2002).

magnética. Subseqüentemente, os dados digitais também podem ser transferidos para um computador, onde procedimentos de processamento de sinal digital podem ser aplicados junto com correções para alguma distorção que for inerente ao procedimento de aquisição dos dados (HARARI, 1996).

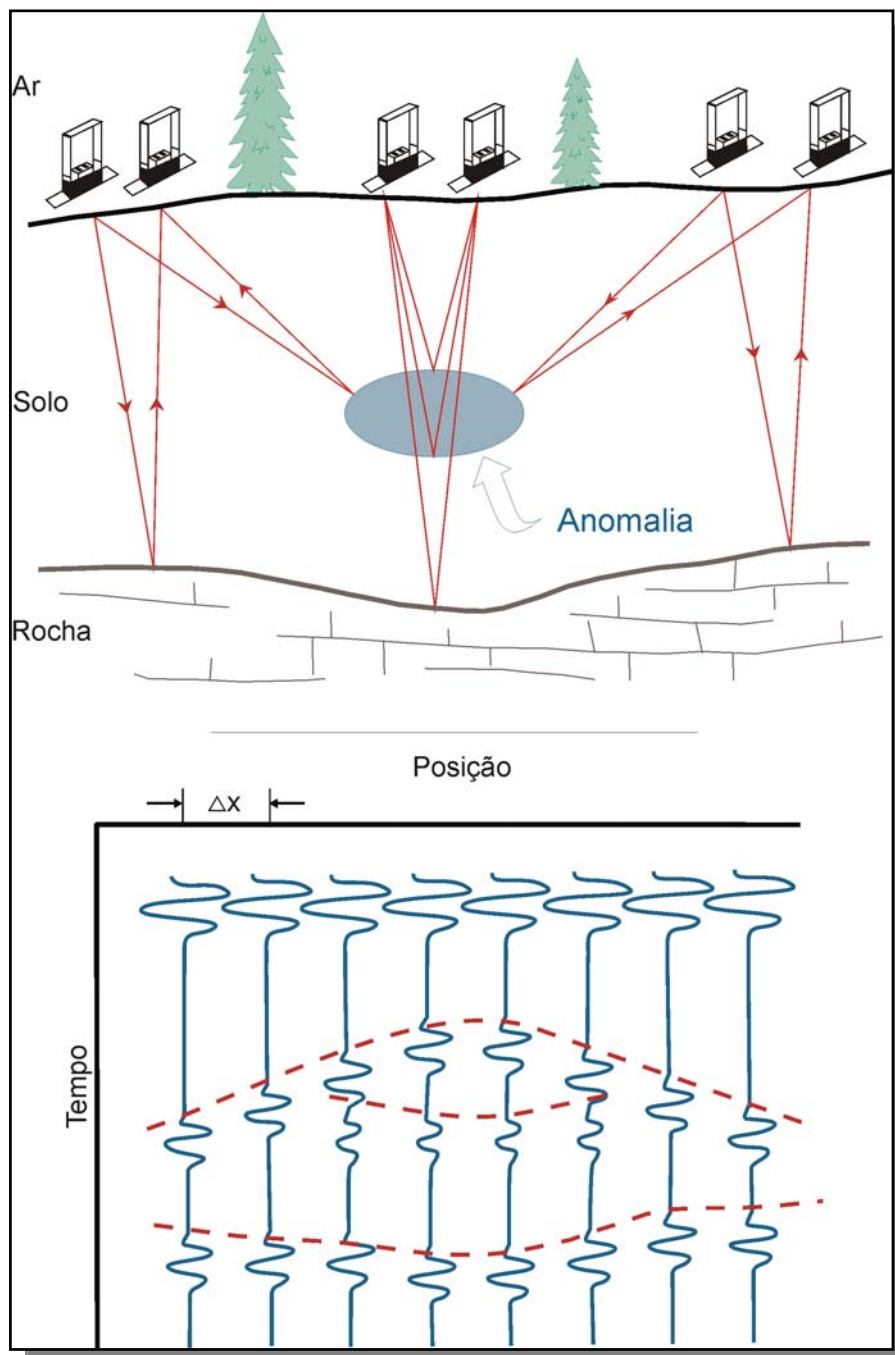


Figura 5: Diagramas representativos da prospecção por GPR. Modificado de ANNAN (1992).

A operação de um *GPR* pode seguir três modos distintos, de acordo com a espaçamento e a posição das antenas (figura 6): modo reflexão; modo para cálculo de velocidade (método do ponto médio ou *CMP* - *common middle point*; método *WARR* - *wide angle reflection and refraction*); e modo de transiluminação (*translumination*).

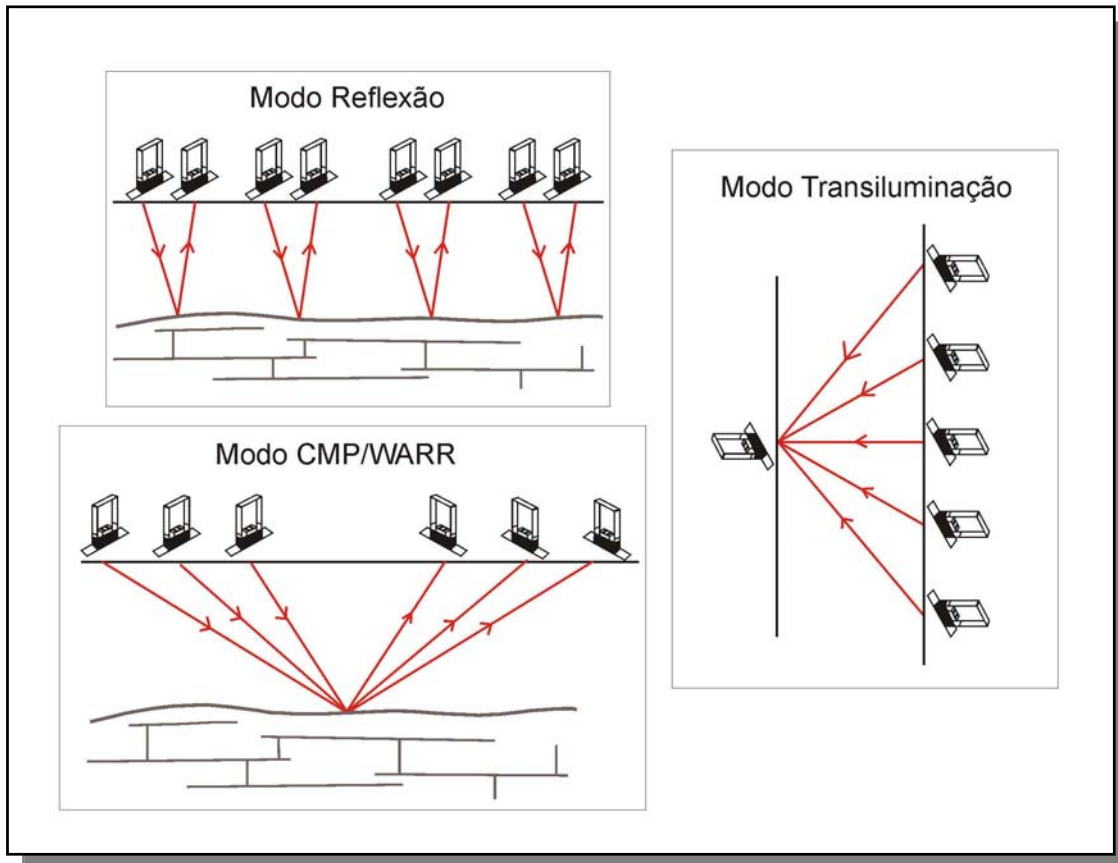


Figura 6: Ilustração dos três modelos básicos de operação do GPR. Modificado de ANNAN, 1992.

Os métodos *CMP* e *WARR* consistem de um afastamento entre as antenas receptora e transmissora a distâncias fixas, podendo ser uma antena fixa e a outra em movimento (*WARR*) ou ambas se movimentando em relação a um ponto fixo (*CMP*). Por estes métodos, é permitido calcular a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas em subsuperfície e, através da queda de amplitude com a distância, calcular a atenuação no meio (MADEIRA, 2002).

O modo transiluminação (*translumination*) consiste de um posicionamento frontal entre as antenas receptora e transmissora, de modo que uma das antenas permanece parada e a outra em

movimento, a intervalos regulares. Este é um método utilizado para fins de engenharia e se assemelha a um raio-X do material alvo (MADEIRA, 2002).

O modo reflexão consiste em se caminhar com as antenas transmissora e receptora, separadas por uma distância fixa, em intervalos constantes (Madeira, 2002). O conjunto de medidas realizadas deste modo resulta no mapeamento das diversas superfícies que limitam, em subsuperfície, materiais com propriedades elétricas diferentes. O resultado final é uma seção geofísica dos materiais do subsolo (radargrama), semelhante àquelas obtidas por reflexão sísmica.

IV.1.2 - Aquisição de Dados

Neste trabalho, o sistema de *GPR* utilizado foi o *pulseEkko IV*, produzido por SENSORS & SOFTWARE INC., pertencente ao Departamento de Geologia da UFRJ.

Os dados foram coletados em trabalhos de campo realizados por membros da equipe do projeto “Estudo de minerais pesados na região de Quissamã (RJ)”, utilizando-se os modos reflexão e *CMP*.

No modo de reflexão, foram utilizadas antenas de 50 MHz, sendo realizadas quatro seções de *GPR* (Q-10, Q-12, Q-13 e Q-21), adquiridas através de caminhamento contínuo ao longo das linhas de prospecção, com um espaçamento de 2m entre as antenas e intervalo de amostragem a cada 0,5m. Por este modo, foram obtidos os radargramas interpretados no estudo aqui apresentado.

Para o cálculo das velocidades de transmissão das ondas de radar em subsuperfície foi utilizado o modo *CMP*. As antenas de 50 MHz foram afastadas de 40cm em 40cm, até atingirem um afastamento de 20m.

Para cada uma das linhas de radar realizadas, foi efetuado o levantamento topográfico, utilizando-se trena e nível, de forma a permitir a correção da superfície do terreno.

IV.1.3 - Processamento dos dados

Em geral, o processamento dos dados na prospecção geofísica por *GPR* é realizado usando-se um *software* específico do radar ou com pacotes sísmicos usuais. Entretanto, no trabalho aqui realizado, não foi feito qualquer tipo de processamento, exceto a correção topográfica, realizada por membros da equipe do projeto “Estudo de minerais pesados na região de Quissamã (RJ)”.

As variações que ocorrem na elevação da superfície do terreno podem causar variações nos dados adquiridos com o *GPR*. De acordo com ANNAN (1992), desde que as profundidades de exploração alcancem 10m e variações topográficas desta ordem sejam comuns, a topografia pode causar distorções nas seções de *GPR*.

Para o cálculo das velocidades, as equações utilizadas foram as mesmas utilizadas por MADEIRA (2002):

Equação 1:

$$z = \sqrt{\frac{t_2^2 x_1^2 - t_1^2 x_2^2}{4(t_1^2 - t_2^2)}}$$

onde: z – distância até a reflexão; t_1 – tempo de ida e volta na leitura 1; t_2 – tempo de ida e volta na leitura 2; x_1 – distância entre as antenas na leitura 1; x_2 – distância entre as antenas na leitura 2.

Equação 2:

$$t = \frac{Ti + Ir}{V}$$

$$Ti = Ir = \left[\left(\frac{x}{2} \right)^2 + d^2 \right]^{1/2} = \frac{1}{2} (x^2 + 4d^2)^{1/2}$$

$$\therefore t = \frac{(x^2 + 4d^2)^{1/2}}{V}$$

onde: t – tempo; V – velocidade da onda no meio; x – distância entre as estações; d – profundidade do refletor.

IV.1.4 - Interpretação dos radargramas

Assim como ocorre com os levantamentos sísmicos, que fornecem os sismogramas, o *GPR* é uma ferramenta de prospecção geofísica que fornece uma imagem dos estratos em subsuperfície (radargrama), baseada nos padrões de reflexão que estes apresentam.

Como os dois tipos de levantamentos apresentam seus resultados de forma muito parecida, a interpretação dos radargramas pode ser feita de maneira similar a dos sismogramas. Desta maneira, os princípios utilizados para a interpretação de dados de levantamentos sísmicos, a sismoestratigrafia, são aplicados aos levantamentos por reflexão de ondas de radar.

De acordo com MITCHUM *et al.* (1977), as reflexões sísmicas são compostas de reflexões individuais geradas por superfícies separando camadas com propriedades acústicas diferentes. Por esta razão, as reflexões tendem a ser paralelas às superfícies dos estratos e possuir o mesmo significado cronoestratigráfico das superfícies dos estratos.

A sismoestratigrafia é a técnica que permite a interpretação estratigráfica e de sistemas deposicionais a partir de dados sísmicos, envolvendo estudos de sismosseqüências.

Estes estudos baseiam-se:

- na análise das terminações dos refletores sísmicos;
- na análise das configurações dos refletores sísmicos e;
- na análise das formas externas das seqüências e unidades de fácies sísmicas.

Estes refletores são interpretados como padrões estratigráficos e usados para reconhecimento e correlação de seqüências deposicionais, interpretação de paleoambientes e estimativa de litofácies.

✓ *Definição de seqüências sísmicas por terminações de refletores*

As terminações de refletores constituem o principal critério para o reconhecimento dos limites das seqüências sísmicas. Os tipos de terminações de refletores de uma sismosseqüência refletem os tipos de terminações de estratos em uma sucessão estratigráfica, como mostra a figura 7.

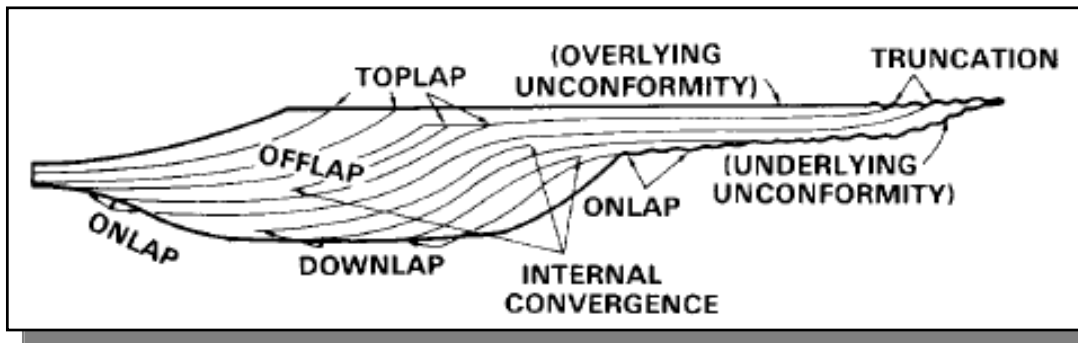


Figura 7: Terminação dos refletores em uma seqüência de estratos (MITCHUM *et al.*, 1977).

Os tipos de terminações discordantes, contra uma superfície de descontinuidade, que ocorrem no limite superior da seqüência são o *toplap* e o truncamento erosivo. O *toplap* é a terminação dos refletores, interpretados como estratos, contra uma superfície sobrejacente, resultando da falta de deposição. O truncamento erosivo (*truncation*) é a terminação abrupta dos refletores contra uma superfície sobrejacente interpretada como uma superfície de erosão.

Os tipos de terminações discordantes que ocorrem, contra uma superfície de descontinuidade, na base da seqüência são o *onlap* e o *downlap*. A terminação *onlap* é a relação na qual os refletores sísmicos são interpretados como estratos horizontais ou com alguma inclinação, terminando contra uma superfície de maior inclinação. O *downlap* é a relação na qual os refletores sísmicos são interpretados como estratos inclinados que terminam contra uma superfície horizontal ou de menor inclinação.

- ✓ *Definição de seqüências sísmicas por configurações de refletores*

A descrição e a interpretação de configurações de reflexão começam com padrões simples e continuam com padrões mais complexos.

Os padrões de configuração dos refletores podem ser subdivididos em padrões progradacionais (figura 8) e não-progradacionais (figura 9).

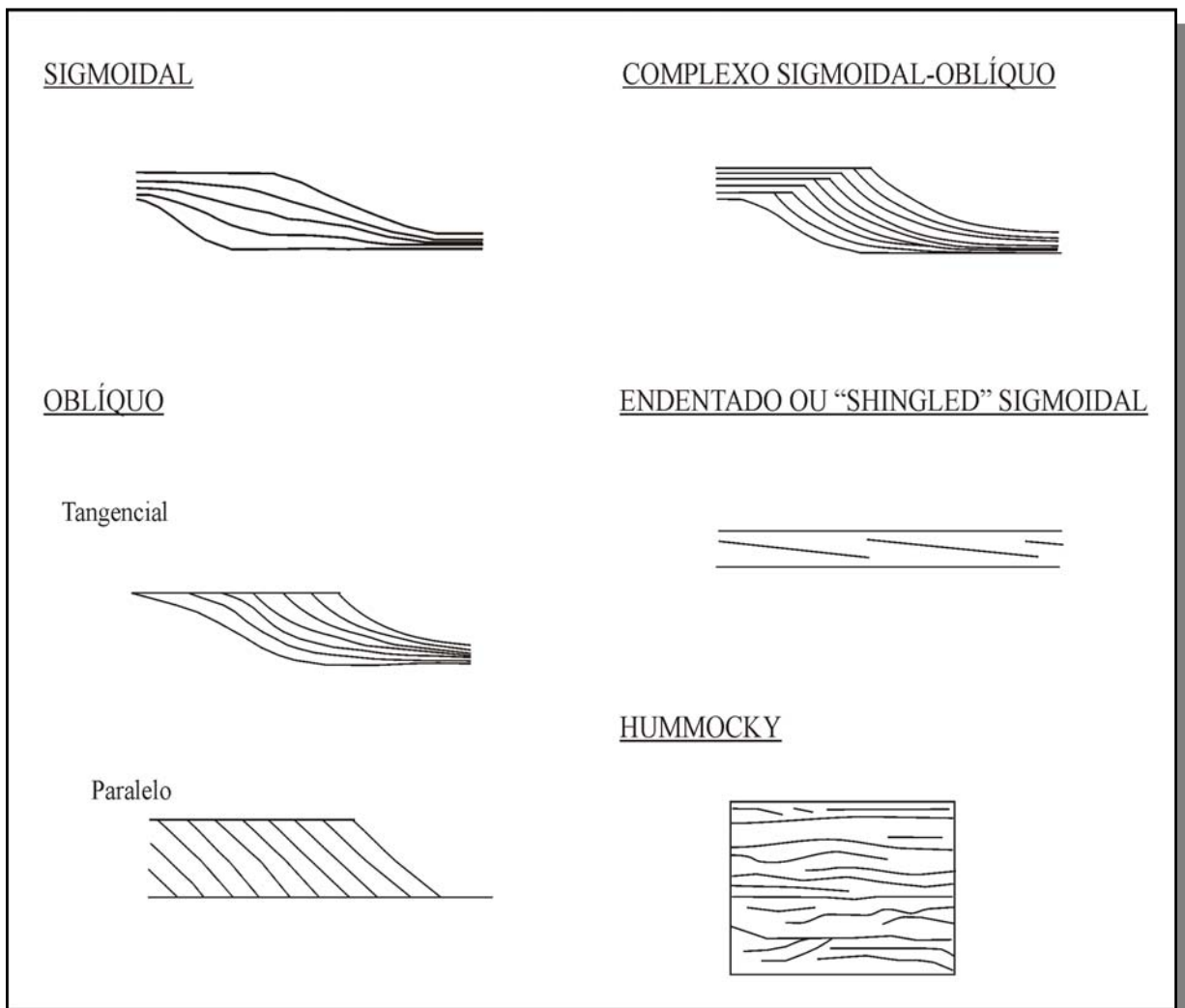


Figura 8: Padrões de reflexão progradantes. Modificado de MITCHUM et al., 1977 (in MADEIRA, 2002).

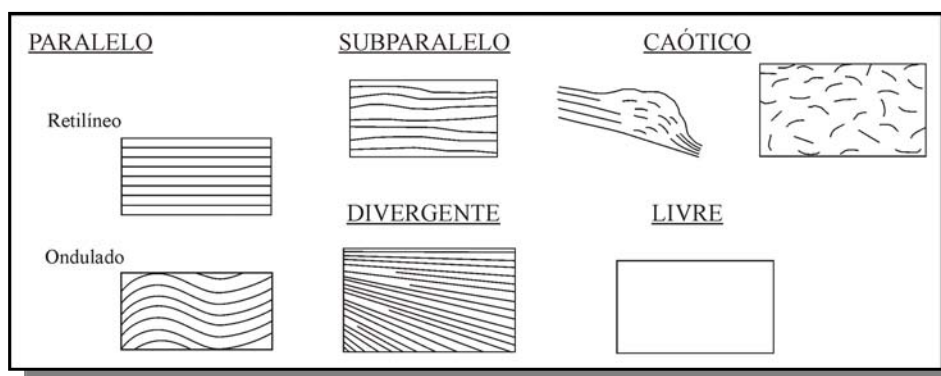


Figura 9: Padrões de configuração de refletores não-progradacionais. Modificado de MITCHUM et al., 1977 (in MADEIRA, 2002).

No trabalho aqui desenvolvido, os padrões de configuração de refletores encontrados foram os não-progradacionais e os significados estratigráficos dos principais deles são:

- Paralelo e subparalelo: este padrão sugere taxas uniformes de deposição de material em locais planos e estáveis;
- Divergente: esta configuração sugere variações laterais na taxa de sedimentação ou uma progressiva inclinação da superfície deposicional;
- Caótico: reflexões descontínuas e discordantes, sugerindo um arranjo desordenado das superfícies de reflexão. Pode ser interpretado tanto como camadas depositadas em um ambiente de alta energia quanto como camadas inicialmente contínuas que foram posteriormente deformadas a ponto de terem suas continuidades rompidas;
- Livre: padrão homogêneo, não-estratificado.

Após a correção topográfica, as linhas de GPR foram interpretadas utilizando-se *overlays* e as feições de radar (radarfácies) principais foram delineadas.

IV.2 - Sondagem a trado

Com base na interpretação das linhas de GPR e de acordo com os padrões de reflexão de radar identificados, foi selecionado pelo menos um ponto em cada linha para a realização dos furos de

sondagens. Para linhas com padrões de reflexões mais variados, um número maior de furos foi realizado. Estes furos tiveram como objetivo a descrição dos materiais em subsuperfície e sua correlação com os seus respectivos padrões de reflexão.

Na etapa de sondagem, foi utilizado um trado mecânico pertencente ao Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno (NEQUAT) - Departamento de Geografia/UFRJ.

Este equipamento é composto por um motor a gasolina acoplado a uma haste de ferro terminada em T, que faz girar o conjunto de hastes que descem no furo, tendo, na extremidade inferior, um copo de corte e remoção do material perfurado. Após ligar o motor, dois operadores, um de cada lado, sustentam o motor sobre a coluna de perfuração (figura 10). À medida que a profundidade de sondagem aumenta, são acrescentados novos segmentos de haste. O trado tem torque suficiente para atingir furos com cerca de 20 metros, mas após 9 metros de perfuração é necessário o auxílio de um tripé, com um cabo de aço, para retirar a coluna de perfuração.



Figura 10: Funcionamento do trado mecânico.

As perfurações são, em geral, lentas. Cada manobra de perfuração permitiu a coleta de no máximo 20cm de material. A cada manobra, os operadores têm que levantar o trado, desmontar a haste e retirar o material trazido pelo copo (figura 11).

A profundidade atingida foi medida com o auxílio de uma trena e o material perfurado foi coletado em uma bandeja plástica e descrito quanto às suas características: granulometria, cor, seleção dos grãos, arredondamento e presença de material oxidado.



Figura 11: Extração do material amostrado.

Os furos de sondagem foram interrompidos quando o embasamento era atingido. Ao todo, foram realizados oito furos de sondagens nas quatro linhas estudadas.

V. RESULTADOS

V.1 - Unidades de radar

A interpretação dos radargramas resultou na identificação de três unidades de radar, presentes nas quatro seções estudadas. Com a realização dos furos de sondagens, estas unidades de radar puderam ser correlacionadas às diferentes unidades estratigráficas.

✓ *Unidade de Radar I*

Esta unidade constitui a principal unidade de radar identificada nas seções estudadas, por apresentar espessuras mais expressivas quando comparada às duas outras unidades de radar.

Caracteriza-se por um padrão de refletores ondulados, mais ou menos contínuos, de aspecto entrecruzado, com geometrias côncavas para cima.

Esta unidade de radar se apresenta com geometrias lenticulares, com base côncava e topo plano.

✓ *Unidade de Radar II*

Esta unidade apresenta a menor espessura entre as três unidades de radar identificadas neste estudo.

Caracteriza-se por refletores contínuos, paralelos, às vezes pouco irregulares, que acompanham a superfície do terreno, resultando em uma geometria sub-tabular.

✓ *Unidade de Radar III*

A unidade de radar III caracteriza-se por um padrão de refletores marcado por feições de hipérboles, convexas para cima, ou refletores fortemente inclinados, paralelos, às vezes cruzados em “X”.

A seguir, a descrição das seções estudadas mostra a distribuição das unidades de radar em cada seção, as litologias descritas através das sondagens e a correlação com os dados geofísicos.

V.2 - Seção Q-10

A seção Q-10 situa-se no início da estrada para a localidade Monte Alto, a partir da rodovia RJ-196, que liga o município de Quissamã à BR-101. Neste local, com relevo de colina suave, foi estudada uma linha de reflexão com cerca de 700 m de comprimento (figura 12).

Através da análise da *CMP*, obteve-se uma velocidade de propagação das ondas de radar no solo de 0,064 m/ns, com a penetração do sinal atingindo uma profundidade máxima de 12 m, porém bem mais efetiva até os primeiros seis metros.

Nesta seção, a unidade de radar I ocorre na porção topograficamente mais elevada, sendo limitada, no topo, pela superfície do terreno e por um refletor inclinado que a separa da unidade de radar II, caracterizando um truncamento erosivo. Na base, a unidade de radar I é limitada por um refletor plano ondulado que a separa da unidade de radar III. A unidade de radar II pode ser identificada ao longo de quase toda seção, logo abaixo da superfície do terreno. Sua espessura varia acompanhando as irregularidades na distribuição da unidade de radar III, presente na base e aflorando na parte final da seção.

Foram realizados três furos de sondagens, atravessando as três unidades de radar presentes: Q10-S1, Q10-S2 e Q10-S3.

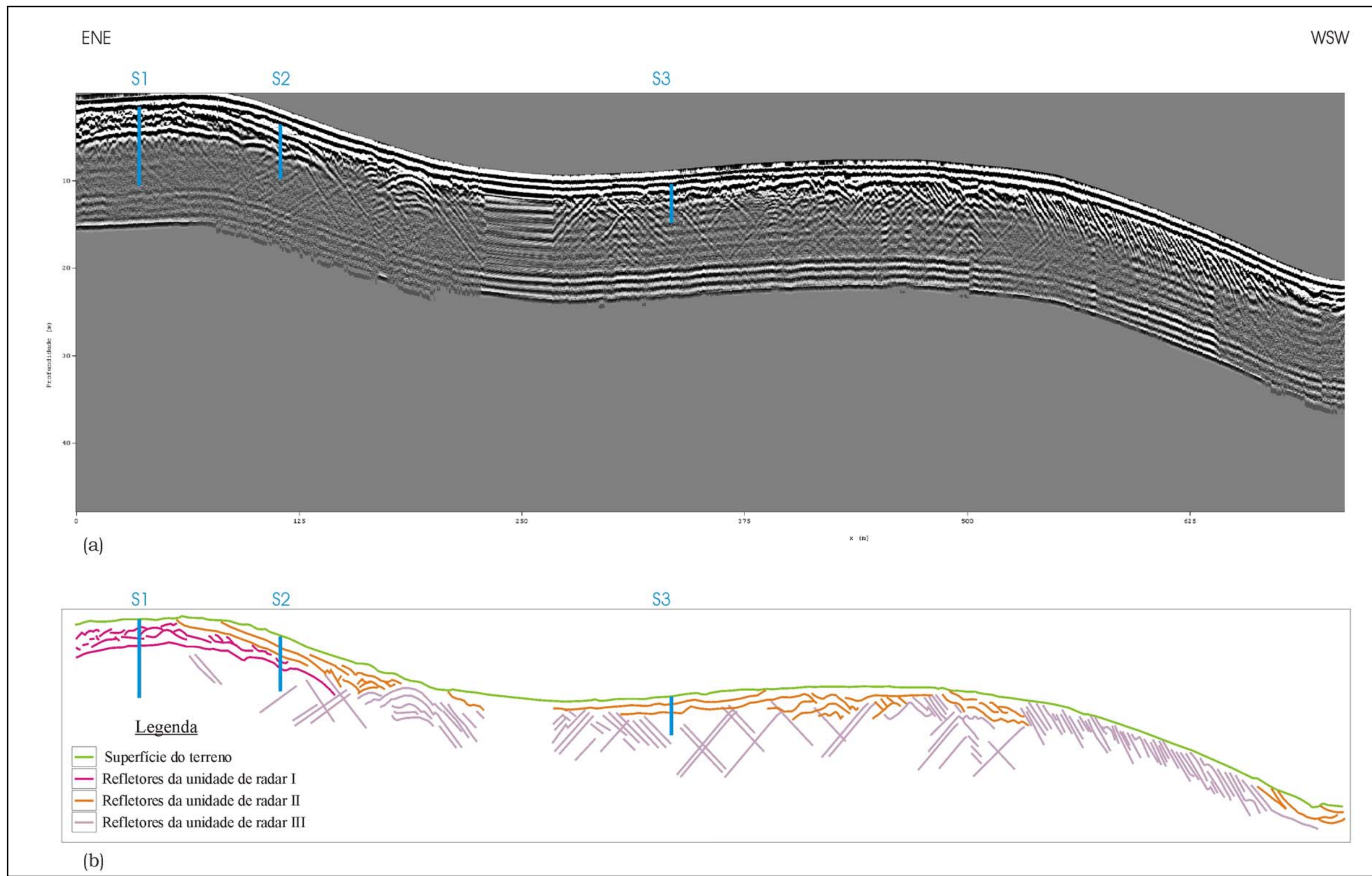


Figura 12: Seção Q-10; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.

A sondagem Q10-S1 (figura 13a) foi realizada 30 m a partir do início da linha de prospecção e alcançou 9,5m de profundidade, atravessando as unidades de radar I e III. Os primeiros 6,24m compreendem um pacote de areias amareladas a avermelhadas, médias a grossas, com seixos. Este pacote arenoso pode ser dividido em dois intervalos, limitados próximo à profundidade de 3,15 m: o intervalo de 0 a 3,15 m constitui-se de areias médias a grossas em três ciclos granodecrescentes, com espessura em torno de 1 m; o intervalo de 3,15 a 6,24 m apresenta uma maior participação de cascalhos finos, em diversos intervalos granodecrescentes, com espessuras em torno de 40 cm. Sob o pacote arenoso, correlacionado à Formação Barreiras, encontra-se um material argiloso, vermelho alaranjado a arroxeadado, bastante mosqueado, associado a rochas do embasamento alteradas, correspondendo à unidade de radar III.

No local onde foi efetuada a sondagem Q10-S1, foi descrita uma exposição em corte de estrada (figura 13b). O perfil realizado, com 3,80 m de altura, apresenta, na base, areias grossas, de cor vermelha intenso a alaranjadas, com grânulos de quartzo, subarredondados a subangulosos, bem selecionadas e pouco argilosas, associadas à Formação Barreiras. Sobre estas areias, ocorre um pacote de areias médias, argilosas, castanho-amareladas, correspondendo a depósitos pós-Barreiras. O limite entre estes dois pacotes arenosos é marcado por fragmentos de crosta de ferro, com até 9 cm de diâmetro, em uma matriz de areia fina bastante argilosa amarelo ocre, configurando uma "stone-line" (linha de pedras).

A sondagem Q10-S2 (figura 14) foi realizada a 85m da sondagem Q10-S1 e alcançou uma profundidade de 6,20 m, atravessando as três unidades de radar descritas anteriormente. O perfil vertical apresenta, abaixo da camada orgânica do solo, um pacote de areias castanho-amareladas, médias a grossas, argilosas e com grânulos que, após 1,91m, tornam-se castanho-avermelhadas, com fragmentos ferruginizados (pós-Barreiras). Na base deste pacote, a cerca de 3m de profundidade, encontra-se uma camada de cerca de 30 cm composta

por fragmentos intensamente ferruginizados e seixos de quartzo de até 2 cm (*stone-line*), que pode ser associada ao truncamento erosivo identificado no radargrama, entre as unidades de radar II e I. A partir desta camada, até a profundidade aproximada de 6 m, o perfil vertical apresenta um pacote de intercalação de areias médias a muito grossas, com cascalhos, rosadas, mal selecionadas, correspondendo à unidade de radar I. Este pacote sedimentar, relacionado à Fm. Barreiras, pode ser dividido em dois intervalos granodecrescentes: entre 3,30 m e 4,75 m, predominam areias grossas; de 4,75 m até cerca de 6 m, predominam cascalhos finos, esbranquiçados a rosados, com seixos subarredondados a subangulosos de até 1,5 cm. Sob este pacote de areias e cascalhos, ocorre um material argilo-síltico esbranquiçado a rosado, mosqueado, que foi associado ao embasamento alterado (unidade de radar III). No contato entre os sedimentos e o embasamento, encontra-se uma areia muito grossa, muito micácea, de coloração ocre, intensamente ferruginizada.

A sondagem Q10-S3 (figura 15) foi realizada a 220 m de distância da sondagem Q10-S2 e atingiu uma profundidade de 4,40 m, atravessando as unidades de radar II e III. O perfil vertical deste ponto apresenta 2,70 m de um pacote de areias médias argilosas, castanho-amareladas, com seixos, grânulos e fragmentos de material ferruginoso (sedimentos pós-Barreiras). Sob este pacote areno-argiloso, ocorre uma camada, com cerca de 30 cm de espessura, composta por fragmentos de crosta de ferro e quartzo, com seixos de até 3 cm de diâmetro, em uma matriz marrom-avermelhada, argilo-arenosa (*stone-line*). Abaixo desta camada, que pode ser associada ao limite entre as unidades de radar II e III, foram descritos materiais argilo-sílticos, castanho-avermelhados, mosqueados, correspondendo a rochas do embasamento alterado.

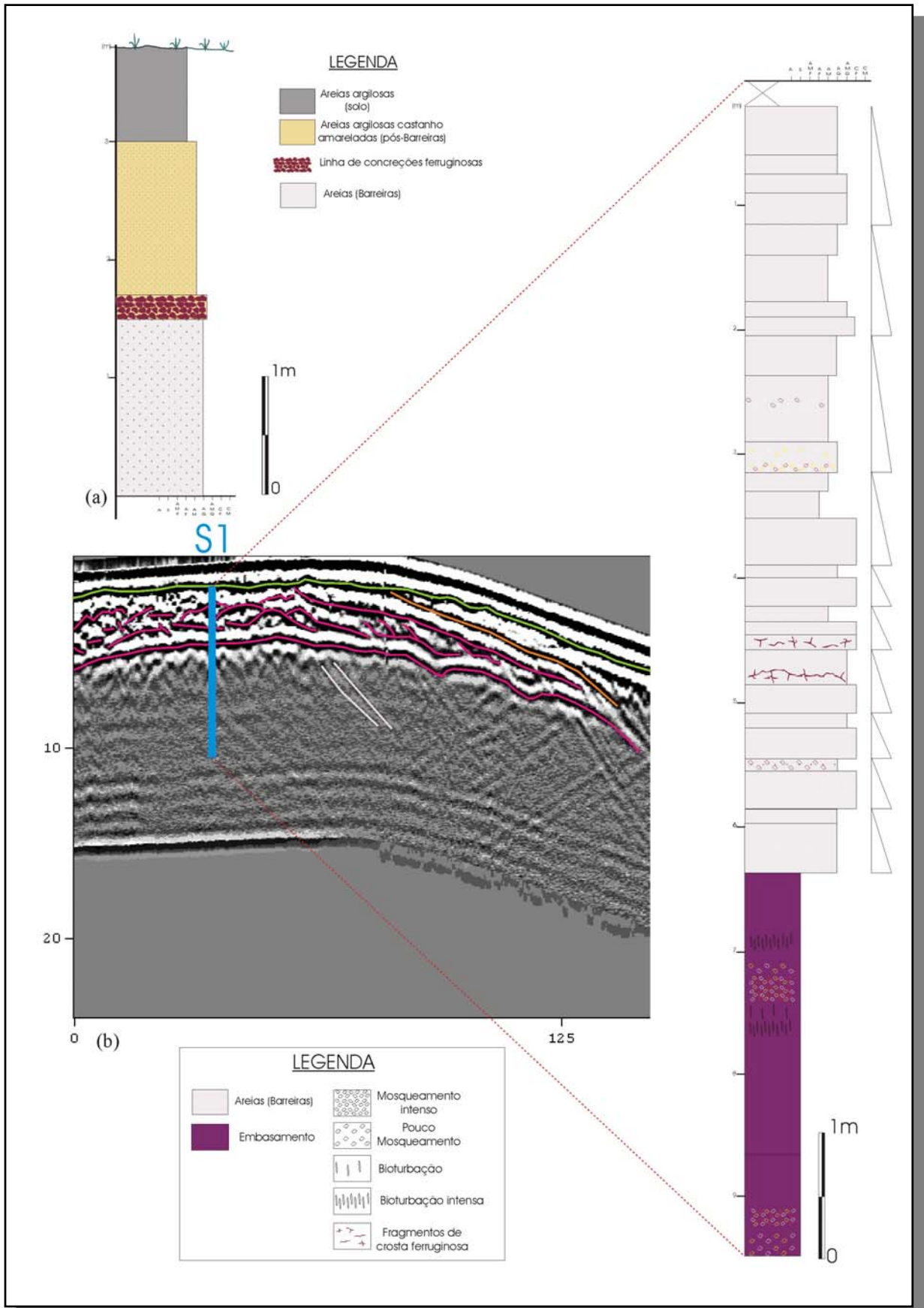


Figura 13: (a) Perfil do afloramento descrito; (b) Sondagem Q10-S1.

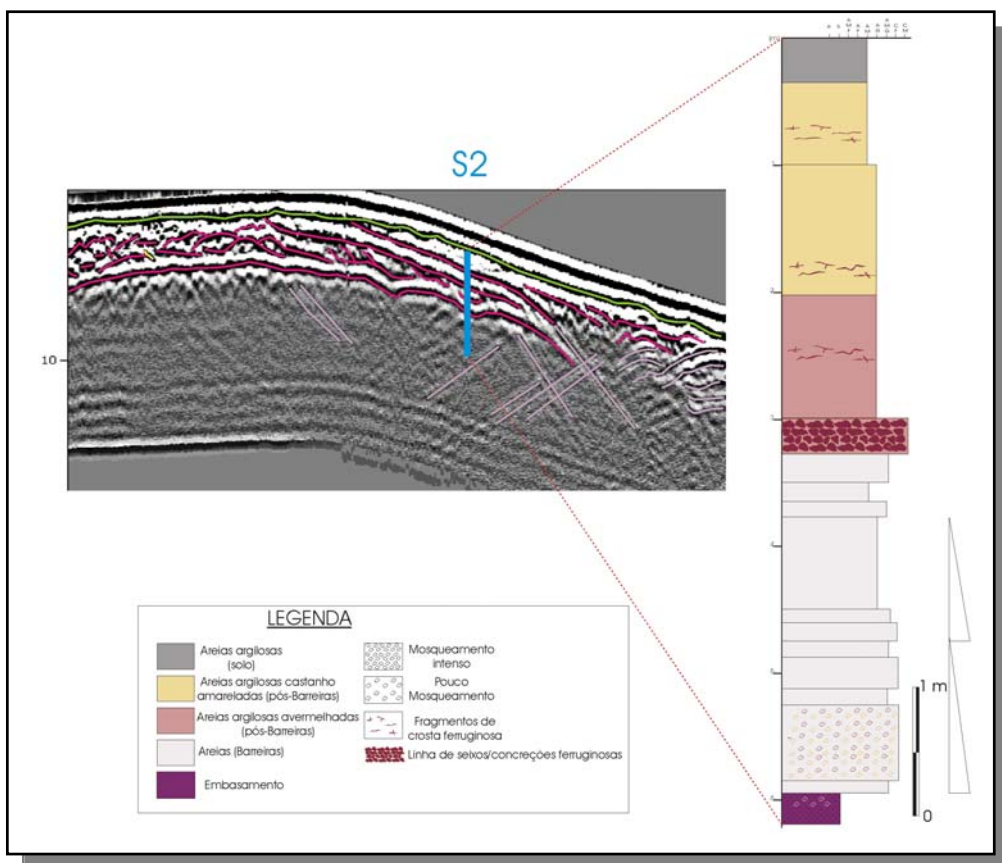


Figura 14: Sondagem Q10-S2.

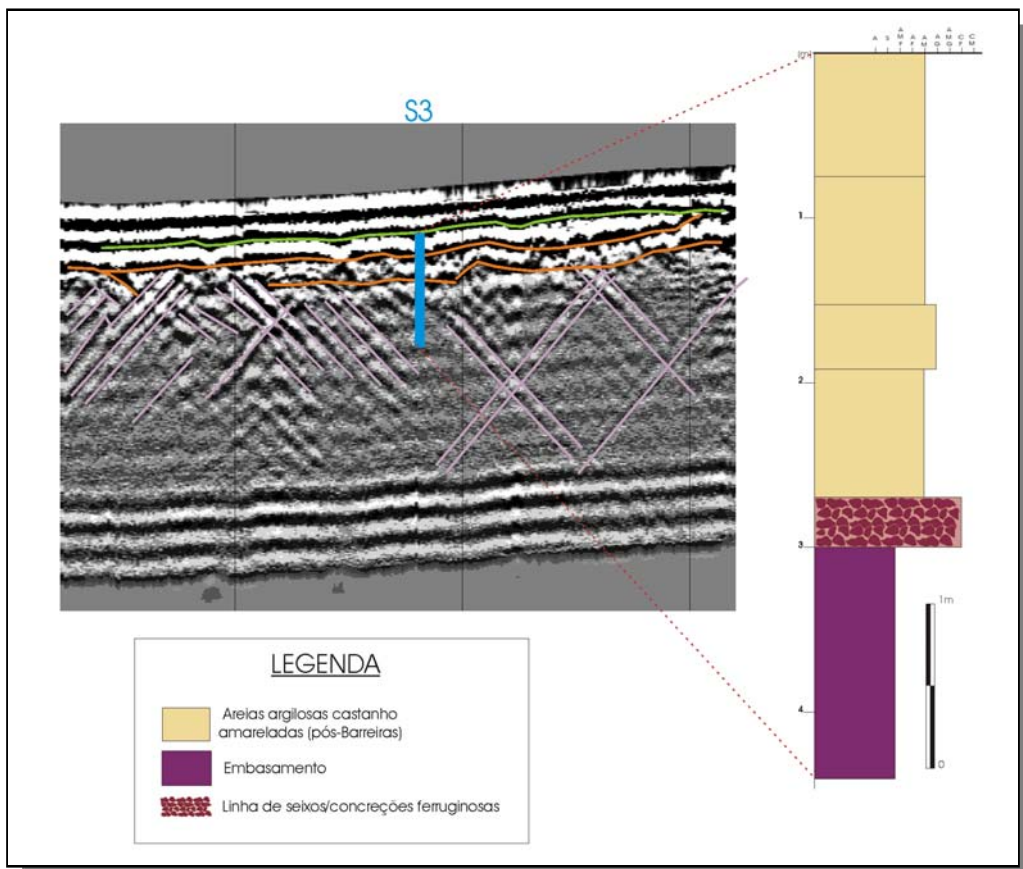


Figura 15: Sondagem Q10-S3.

V.3 - Seção Q-12

A seção Q-12 foi realizada em relevo de colina, na área da Fazenda Trindade, se estendendo desde o setor de baixa encosta até o topo da colina, atingindo um comprimento de 238 m (figura 16).

Através da análise da *CMP* obteve-se uma velocidade de propagação das ondas de radar no solo de 0,106m/ns, com a penetração do sinal atingindo uma profundidade máxima de cerca de 13 m, porém bem mais efetivas nos primeiros oito metros.

Nesta seção, a unidade de radar I ocorre em quase toda sua extensão, sendo limitada, no topo, pela superfície do terreno e por um refletor contínuo, correspondente ao limite com a unidade de radar II. As terminações discordantes de topo dos refletores da unidade de radar I com a unidade de radar II sugerem um truncamento erosivo. A unidade de radar II, de pequena espessura, está bem representada nas porções média e final da seção, como um refletor contínuo que acompanha a superfície do terreno. A unidade de radar III está bem representada por um padrão de hipérbolas, na base do radargrama, chegando a ser limitada pela superfície do terreno em um trecho na parte inicial da seção.

A presença de um trecho exposto da encosta onde foi realizado o levantamento da seção Q-12 permitiu a visualização direta dos materiais investigados em subsuperfície. A reconstituição estratigráfica de uma seção ao longo desta área, com a utilização de nível topográfico e trena, mostra a relação dos depósitos da Formação Barreiras com as unidades sub e sobrejacentes (figura 17).

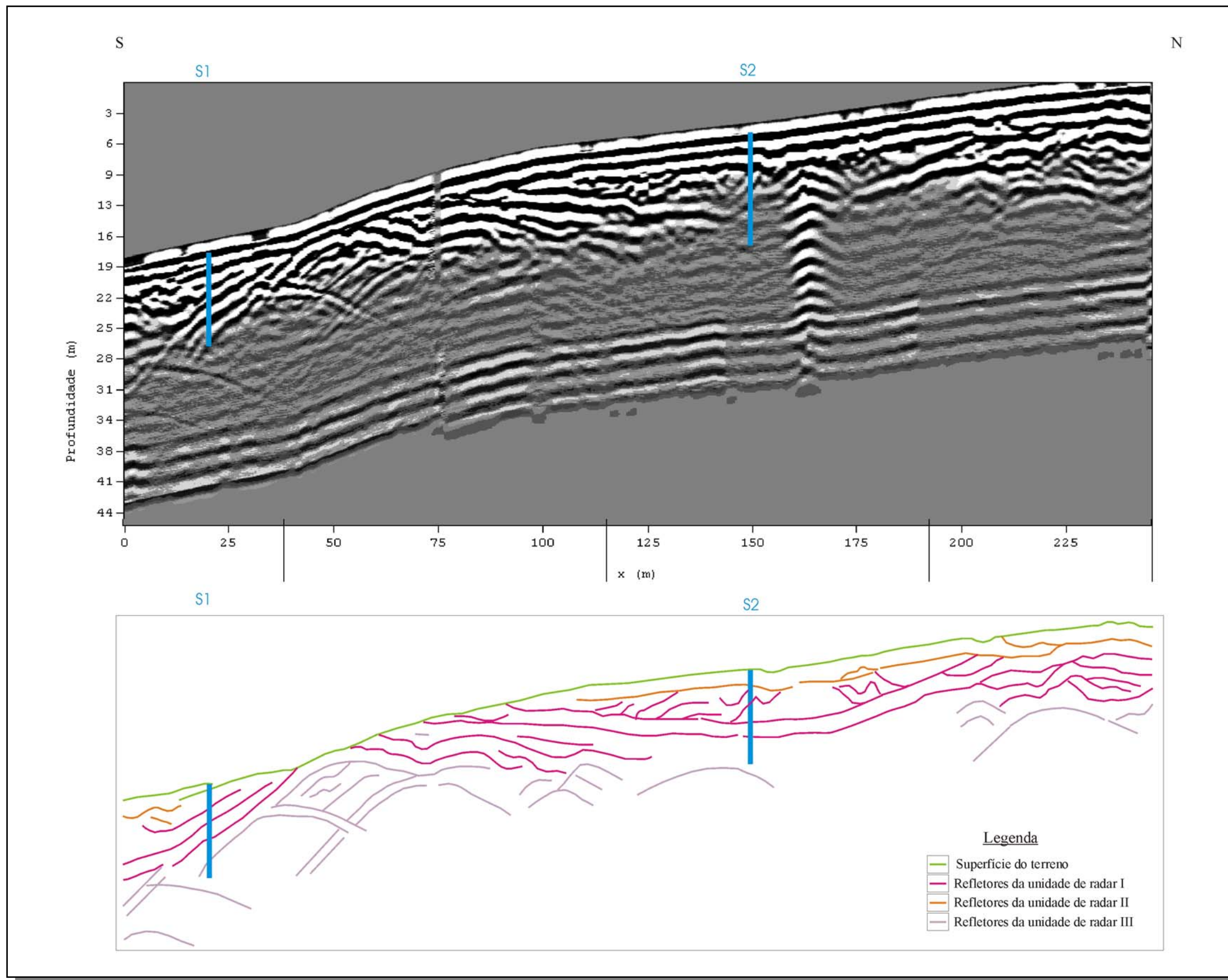


Figura 16: Seção Q-12; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.

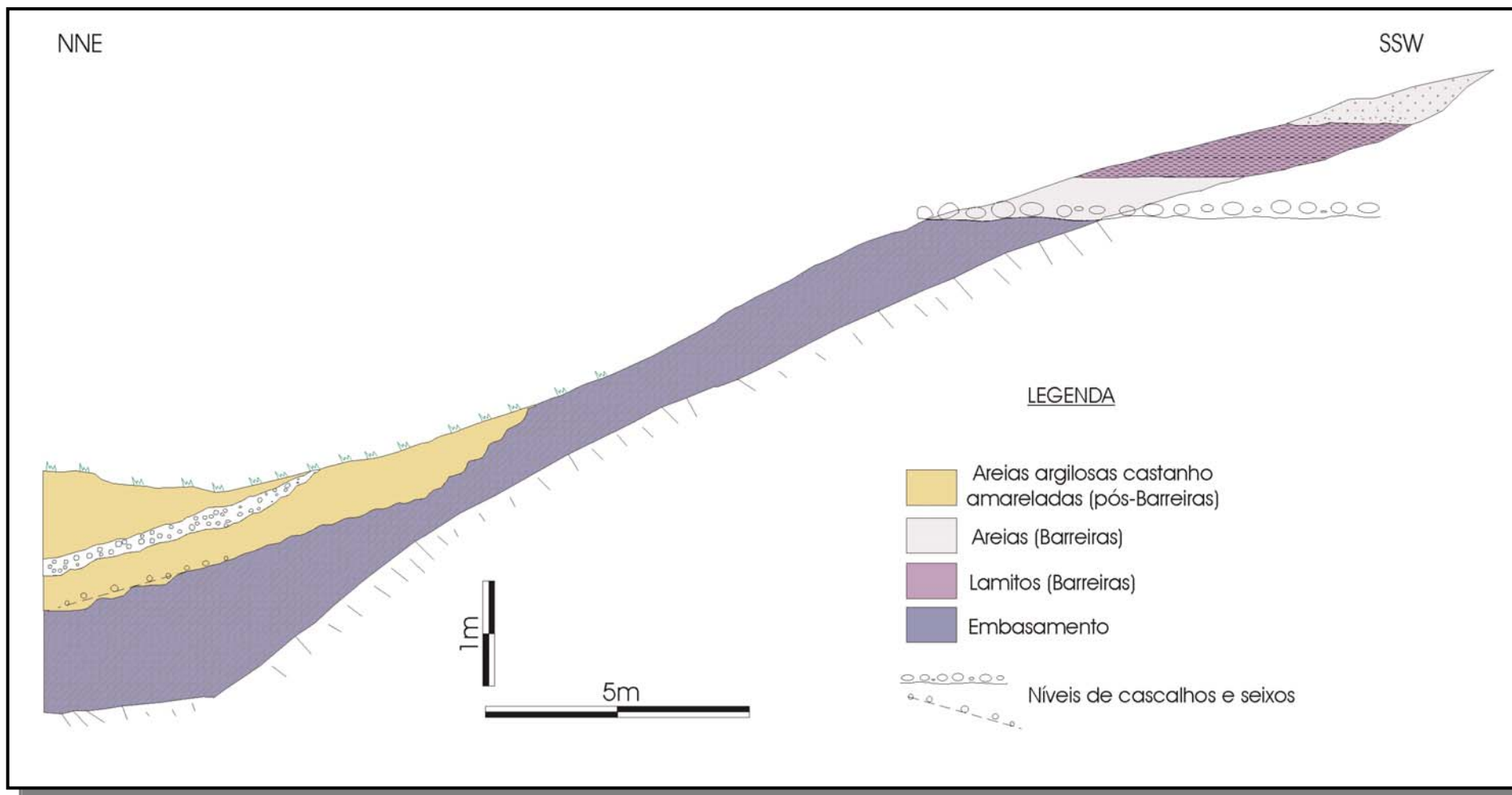


Figura 17: Seção Fazenda Trindade.

Na porção topograficamente mais alta da seção estratigráfica, ocorre um pacote sedimentar constituído por camadas de cascalhos arenosos, de coloração avermelhada, com seixos subangulosos a bem arredondados de 2 a 3 cm, e com pequenos fragmentos de crosta de ferro. Estas camadas estão intercaladas por uma outra de areia muito fina, síltica, de cor variegada (roxo, amarelo, vermelho), muito mosqueada, bioturbada e com grânulos de quartzo dispersos. Na base deste pacote sedimentar, marcando a inconformidade sobre o embasamento alterado, ocorre uma expressiva linha de seixos e blocos de até 20 cm, de quartzo fumê e quartzo de veio. O embasamento alterado é composto de um material areno-argiloso, com muitos grânulos de quartzo, castanho-avermelhado, com mosqueamento branco e amarelado, micáceo e com presença de concreções ferruginosas.

Em direção à parte mais baixa da colina, em discordância sobre o embasamento alterado, ocorre um pacote, com cerca de 1,5 m de espessura, constituído por camadas de materiais areno-argilosos, com grânulos, de cor castanho-amarelado. Níveis de cascalhos compostos por quartzo e fragmentos de crosta ferruginosa, angulosos a subarredondados, com tamanho máximo de 2 cm, limitam as camadas na base.

Comparando a seção estratigráfica com o radargrama, nota-se claramente a relação entre os padrões estratigráficos acima descritos e a distribuição das unidades de radar na porção inicial do radargrama.

Ao longo da linha de prospecção geofísica, foram realizados dois furos de sondagens, atravessando as três unidades de radar presentes: Q12-S1 e Q12-S2.

A sondagem Q12-S1 (figura 18) foi realizada a 20 m do início da linha de prospecção e atingiu uma profundidade de 9,50 m, atravessando as três unidades de radar. Os primeiros 2,30 m constituem-se de areias finas a grossas, castanho-amareladas, com grânulos e seixos de até 4 cm na base, relacionadas à unidade de radar II e classificadas como depósitos pós-Barreiras. O intervalo de 2,30 a

9,30 m corresponde à unidade de radar I e pode ser associado aos depósitos da Formação Barreiras. Constitui-se por três ciclos granodecrescentes, com espessuras em torno de 2 m a 3 m, compostos por areias finas a muito grossas. O ciclo inferior destaca-se pela presença de uma camada de cascalhos na base. Sob este espesso pacote de areias e cascalhos, encontra-se um material argilo-síltico, castanho-amarelado, muito micáceo, correspondente à unidade de radar III e associado ao embasamento alterado.

A sondagem Q12-S2 (figura 19), realizada na porção topograficamente mais elevada da colina e a cerca de 115 m de distância da sondagem Q12-S1, atingiu uma profundidade de 9,50 m. Os primeiros 1,80 m compreendem um pacote de areias finas argilosas, castanho-amareladas, com grânulos, fragmentos de crosta de ferro e com cascalhos subarredondados na base. Este pacote foi relacionado à unidade de radar II e associado a depósitos pós-Barreiras. A partir de 1,80 m de profundidade, até cerca de 8,80 m, foi identificado um pacote de areias avermelhadas, finas a muito grossas, correspondendo à unidade de radar I e associadas a depósitos da Formação Barreiras. Este pacote pode ser subdividido basicamente em dois intervalos, limitados por uma camada de 25 cm constituída por sedimentos argilosos, com grânulos (lamito). O primeiro intervalo no pacote arenoso, de 1,80 m a 5,75 m, é formado por uma sucessão granodecrescente de areias avermelhadas, finas a grossas, com grânulos de quartzo. O segundo intervalo, de 6,0 m a 8,80 m, constitui-se de intercalações de camadas de areias grossas e camadas de cascalhos finos, avermelhadas. Abaixo do pacote de areias e cascalhos, ocorrem materiais argilosos, muito micáceos, bastante mosqueados e com presença de crosta de ferro, associados à unidade de radar III e relacionados ao embasamento alterado.

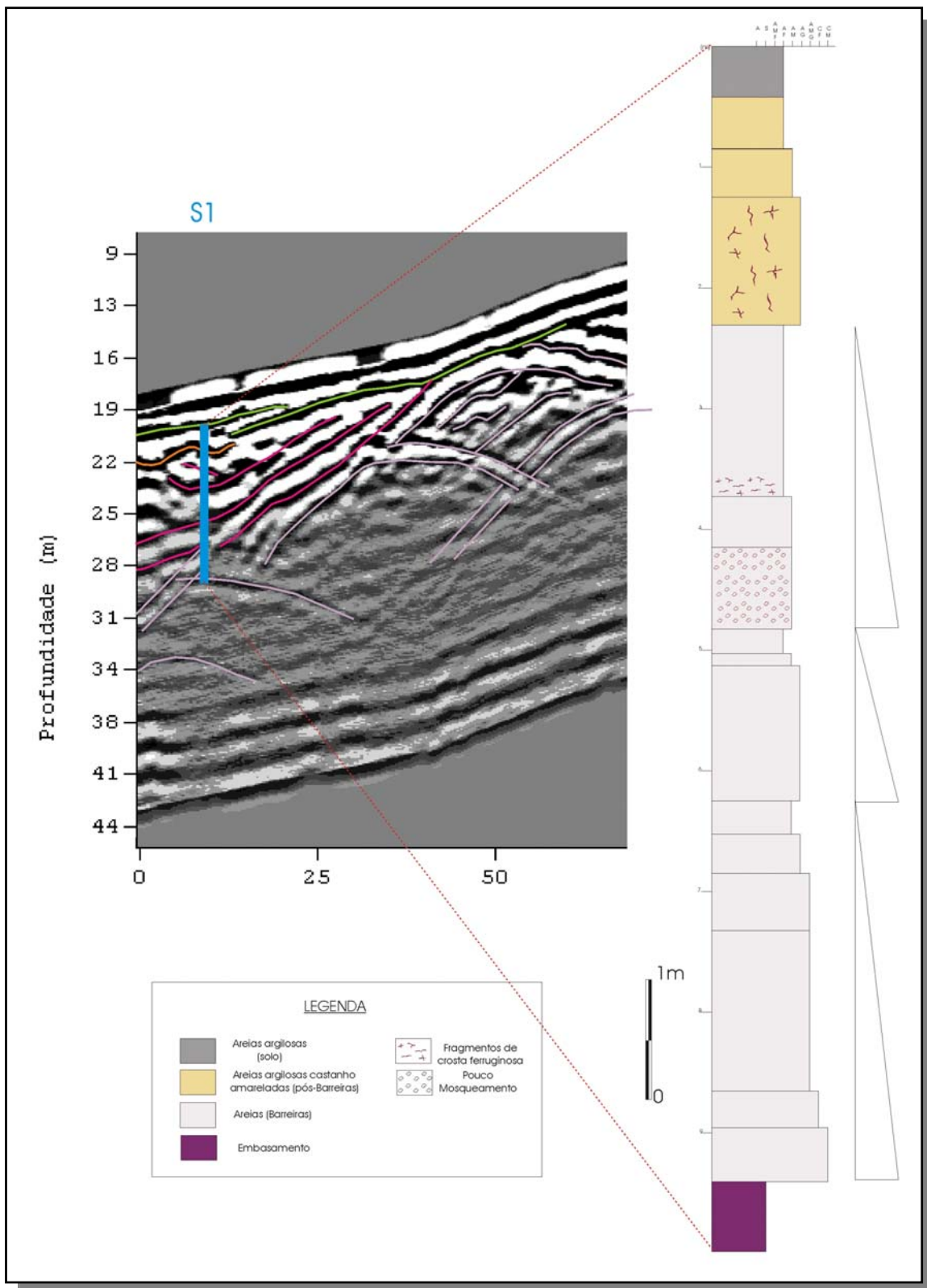


Figura 18: Sondagem Q12-S1.

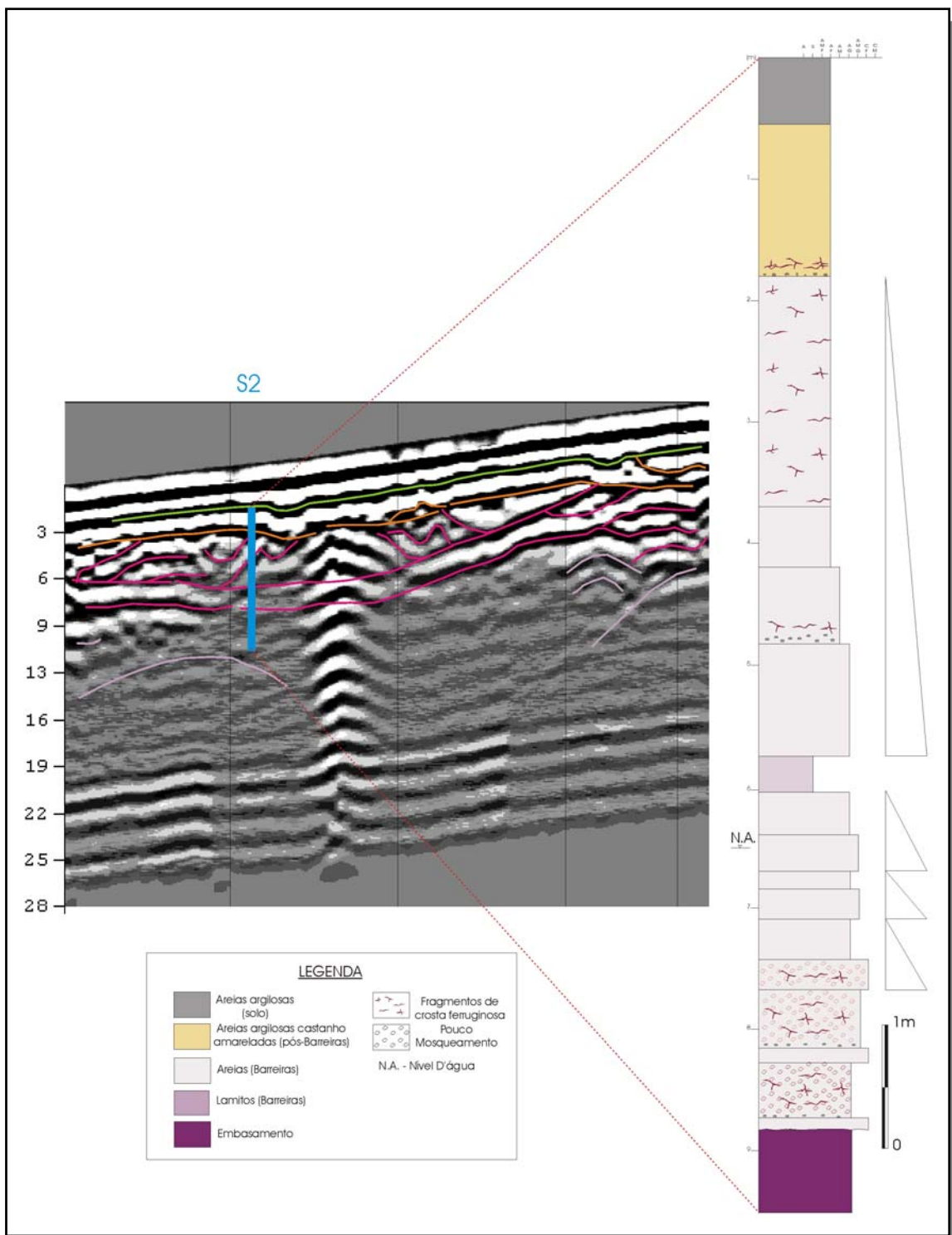


Figura 19: Sondagem Q12-S2.

V.4 - Seção Q-13

No topo da colina onde se localiza o campo de futebol da Fazenda Trindade, foi levantada uma linha de reflexão com extensão de 170 m (figura 20).

Através da análise da *CMP* obteve-se uma velocidade de propagação das ondas de radar no solo de 0,106m/ns, tendo sido alcançada uma penetração do sinal do radar em torno de 12 m, mais efetiva nos primeiros cinco metros.

A unidade de radar I ocorre ao longo de toda a seção estudada, sendo limitada no topo por um refletor contínuo, correspondente ao limite com a unidade de radar II, que acompanha a superfície do terreno. A unidade de radar III não está muito bem representada nesta seção.

Ao longo da linha de prospecção geofísica, foram realizados dois furos de sondagens: Q13-S1 e Q13-S2.

A sondagem Q13-S1 (figura 21) foi realizada a 30 m antes do final da linha de GPR e atingiu cerca de 14 m de profundidade, atravessando as três unidades de radar. Os primeiros 2,40 m constituem um pacote de areias finas, argilosas, castanho-amareladas, relacionadas à unidade de radar II e associadas a depósitos pós-Barreiras. Entre 2,40 e 3,80 m de profundidade, foi identificado um pacote de areias finas a muito finas, pouco argilosas, avermelhadas, também atribuídas a depósitos pós-Barreiras, porém podendo já representar depósitos da Fm. Barreiras, alterados. Deve-se destacar o fato de que, neste perfil, não se observou a presença de cascalhos limitando a base dos depósitos pós-Barreiras. A partir de 3,80 m até 13,15 m de profundidade, ocorre um pacote arenoso que se relaciona aos depósitos da Formação Barreiras, correspondendo à unidade de radar I. Este pacote subdivide-se em dois intervalos granodecrescente de areias finas a muito grossas, esbranquiçadas a avermelhadas, com cerca de 4 a 5 m de espessura cada, separados por uma camada pouco espessa (cerca de 25 cm) de lamito argiloso arroxeadado. O intervalo da

base, de granulometria mais grossa, em geral, pode ser subdividido em dois intervalos menores, sendo o mais inferior constituído por sucessões granodecrescentes com espessuras em torno de 40 cm. Sob o pacote arenoso, ocorrem materiais finos, sílticos, de cor vermelha intensa a alaranjada, micáceos e com nódulos de ferro, associados a rochas do embasamento alterado. O contato entre estes materiais é marcado por uma fina crosta ferruginosa desenvolvida nos materiais arenosos.

A sondagem Q13-S2 (figura 22) foi realizada a cerca de 50 m do furo Q13-S1 e atingiu uma profundidade de 13,60 m, atravessando as três unidades de radar. Os primeiros 1,60 m de profundidade, constituem um pacote de areias finas, argilosas, castanho-amareladas, relacionadas à unidade de radar II e associadas a depósitos pós-Barreiras. Entre 1,60 m e 3,70 m de profundidade, foi identificado um pacote de areias muito finas, argilosas, avermelhadas, ferruginizadas na base. Estes materiais foram também atribuídos a depósitos pós-Barreiras, embora possam representar depósitos da Fm. Barreiras alterados, tendo em vista que não se observou a presença de cascalhos limitando a base dos depósitos pós-Barreiras. Abaixo de 3,70 m até a profundidade de 13,15 m, foi descrita uma espessa sucessão de depósitos arenosos, relacionados à Formação Barreiras, constituídos por areias finas a muito grossas, individualizados em quatro intervalos granodecrescentes, com espessura em torno de 2 a 3 m. Este pacote corresponde à unidade de radar I. Abaixo do pacote de areias e cascalhos, foram descritos materiais sílticos, micáceos, bastante mosqueados, relacionados ao embasamento alterado.

Confrontando-se os resultados dos perfis de sondagem Q13-S1 e Q13-S2 com o radargrama, nota-se que as feições de hipérboles amplas não estão relacionadas, neste caso, a rochas do embasamento. Estas hipérboles podem ser oriundas de feições de mosqueamento (ferruginização) nos sedimentos arenosos ou provocadas pela interferência de objetos próximos, como, por exemplo, árvores.

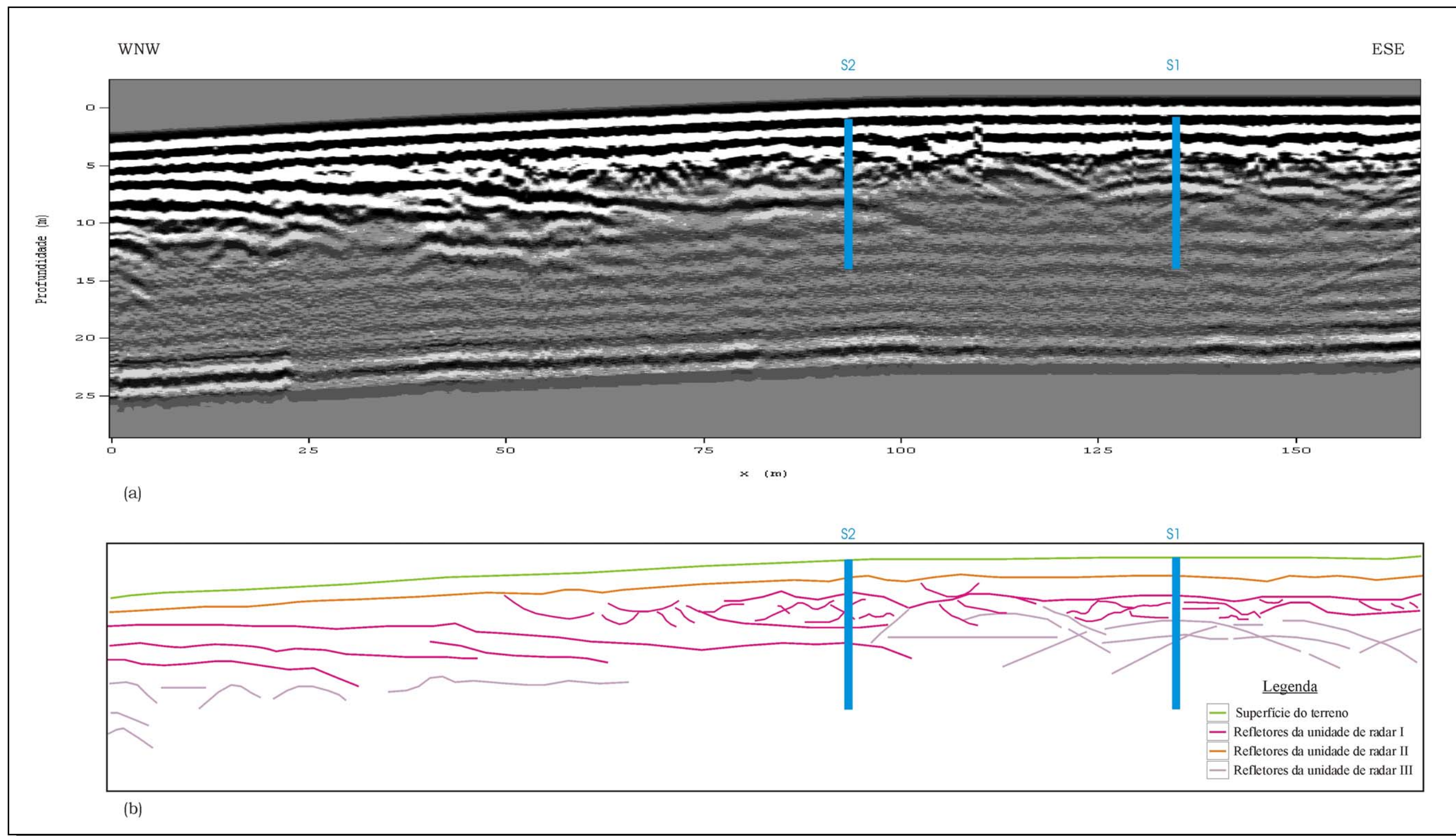


Figura 20: Seção Q-13; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.

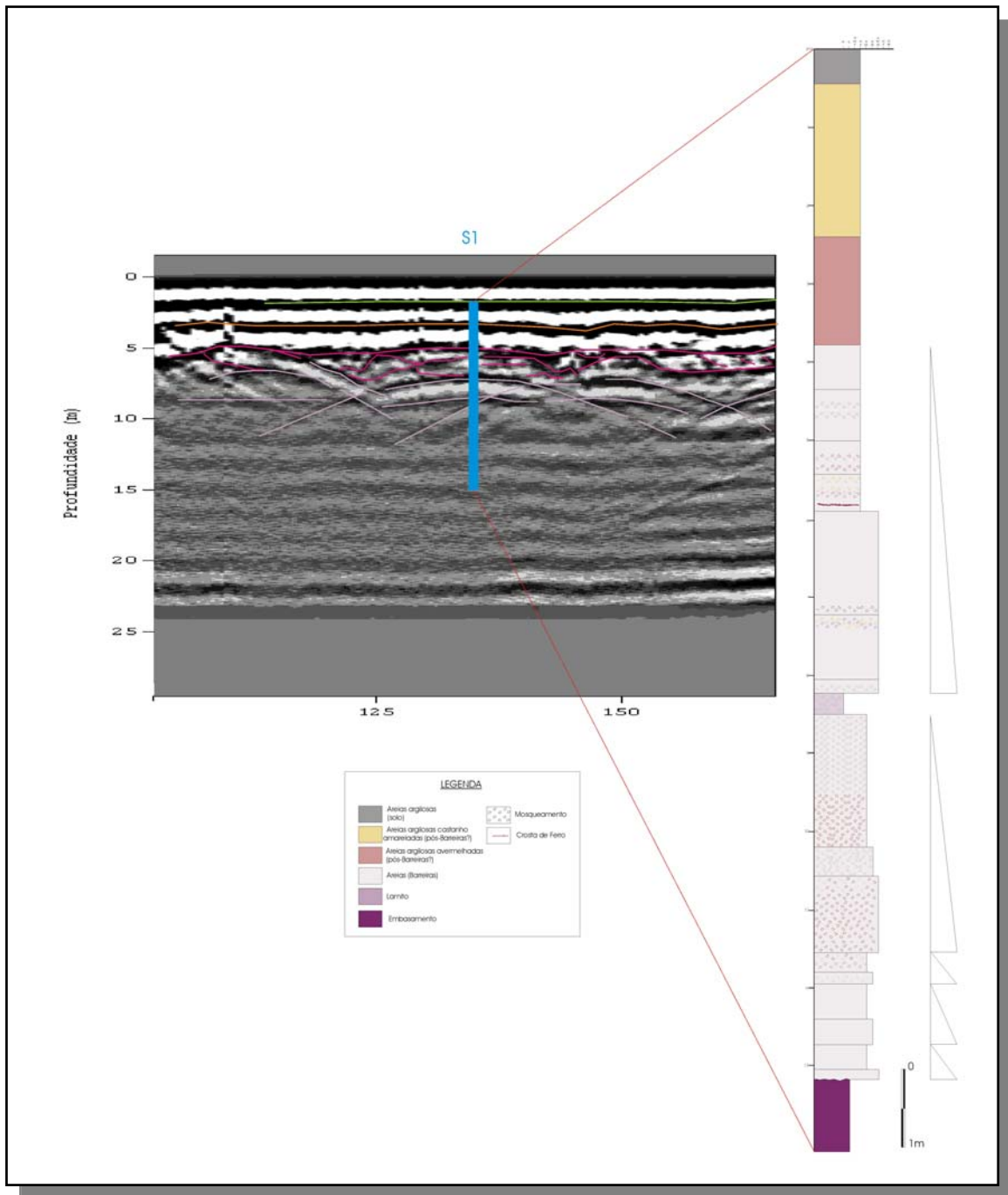


Figura 21: Sondagem Q13-S1.

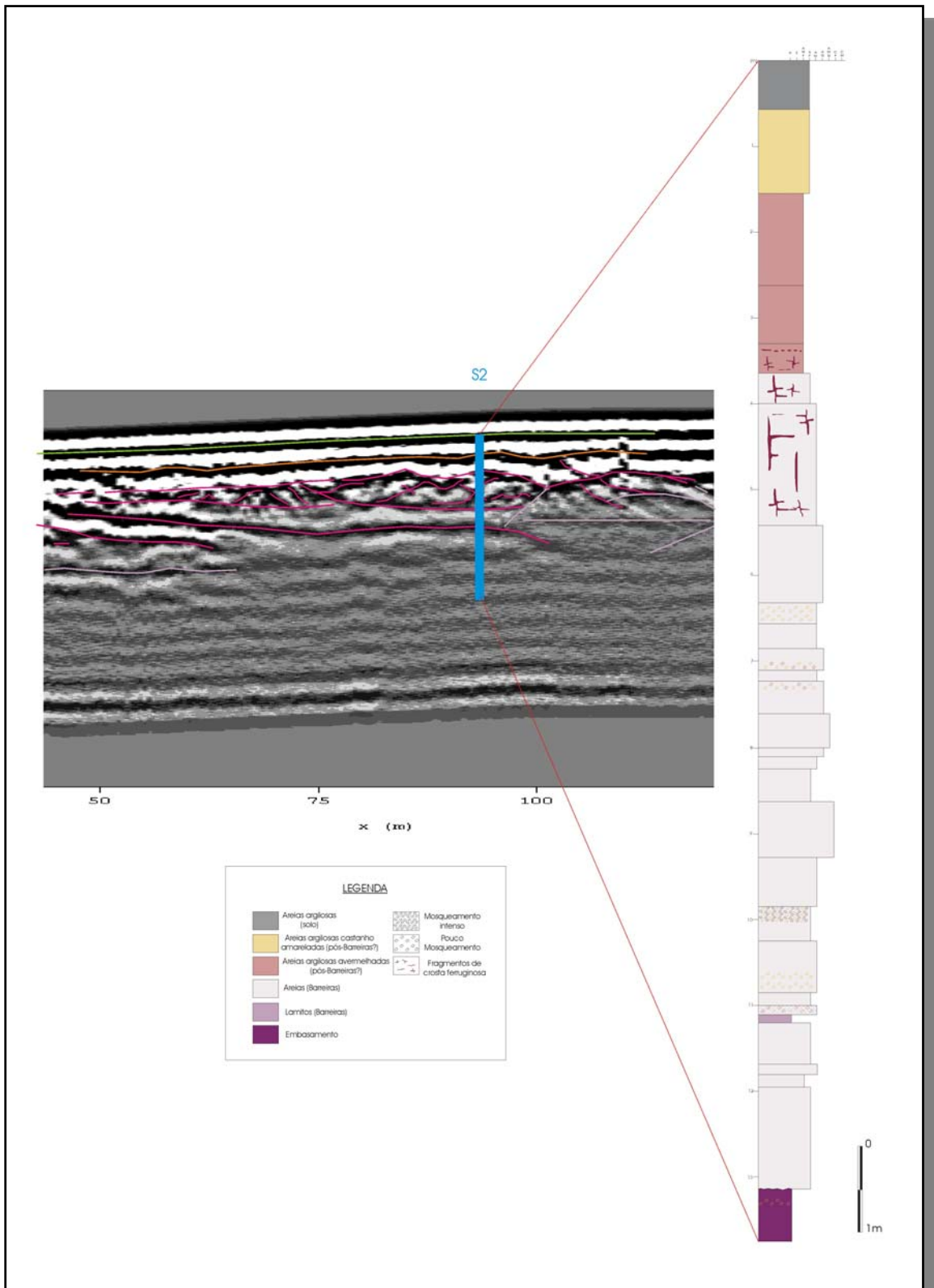


Figura 22: Sondagem Q13-S2.

V.5 - Seção Q-21

A seção Q-21, atingindo um comprimento de 158 m (figura 23), foi realizada em relevo de colina à margem direita do rio do Meio, próximo ao seu cruzamento com a rodovia RJ-196.

Através da análise da *CMP* obteve-se uma velocidade de propagação das ondas de radar no solo de 0,055m/ns, tendo sido alcançada uma penetração do sinal do radar em torno de 7,5 m, mais efetiva nos primeiros cinco metros.

As unidades de radar I e II distribuem-se ao longo de toda a seção. A unidade I é superposta pela unidade II através de uma relação de aparente truncamento erosivo. A unidade de radar III foi identificada na base do radargrama, principalmente na sua metade inicial.

Nesta seção, foi realizado um furo de sondagem na porção topograficamente mais baixa, atravessando as três unidades de radar.

A sondagem Q21-S1 (figura 24) foi realizada a cerca de 10 m do início da linha de prospecção e alcançou uma profundidade de 10,50m. Os primeiros 90 cm de profundidade constituem-se de areias muito finas a médias, argilosas, castanho amareladas, relacionadas à unidade de radar II e associadas a depósitos pós-Barreiras. Na base deste pacote, ocorrem fragmentos de crosta ferruginosa. Entre 90 cm e 2,75 m de profundidade, foi identificado um pacote por areias finas a médias, argilosas, castanho-avermelhadas, com fragmentos de crosta de ferro, interpretado como depósitos da Fm. Barreiras muito ferruginizados. Abaixo de 2,75 m até a profundidade de 9,80 m, ocorre um pacote constituído por dois intervalos arenosos limitados por uma camada de 50 cm de lamito argiloso, muito bioturbado (tubos cilíndricos). Este pacote foi associado à unidade de radar I e relacionado a depósitos da Formação Barreiras. O intervalo superior, entre 2,75 e 5,25 m, constitui-se de dois ciclos granodecrescentes de areias muito finas a muito grossas, avermelhadas a rosadas, com espessuras de 2 m e 50 cm. O intervalo abaixo da camada de lamito é constituído por três ciclos granodecrescentes de areias finas a muito grossas, de cores

variegadas (rosadas, amareladas, avermelhadas). Na base deste intervalo ocorre uma camada de 25 cm de cascalho fino, cinza-amarelado, com intraclastos de argila, seixos bem arredondados e bastante oxidado. Abaixo do pacote de areias e cascalhos, foram descritos materiais sílticos, micáceos, castanho-amarelados, com mosqueamento branco e vermelho intensos e seixos de quartzo, relacionados ao embasamento alterado.

Confrontando-se os resultados do perfil de sondagem Q21-S1 com o radargrama, nota-se que as feições de hipérboles não estão relacionadas, neste caso, a rochas do embasamento. Provavelmente estas hipérboles devem corresponder a padrões de reflexão associados às feições de ferruginização nos sedimentos arenosos.

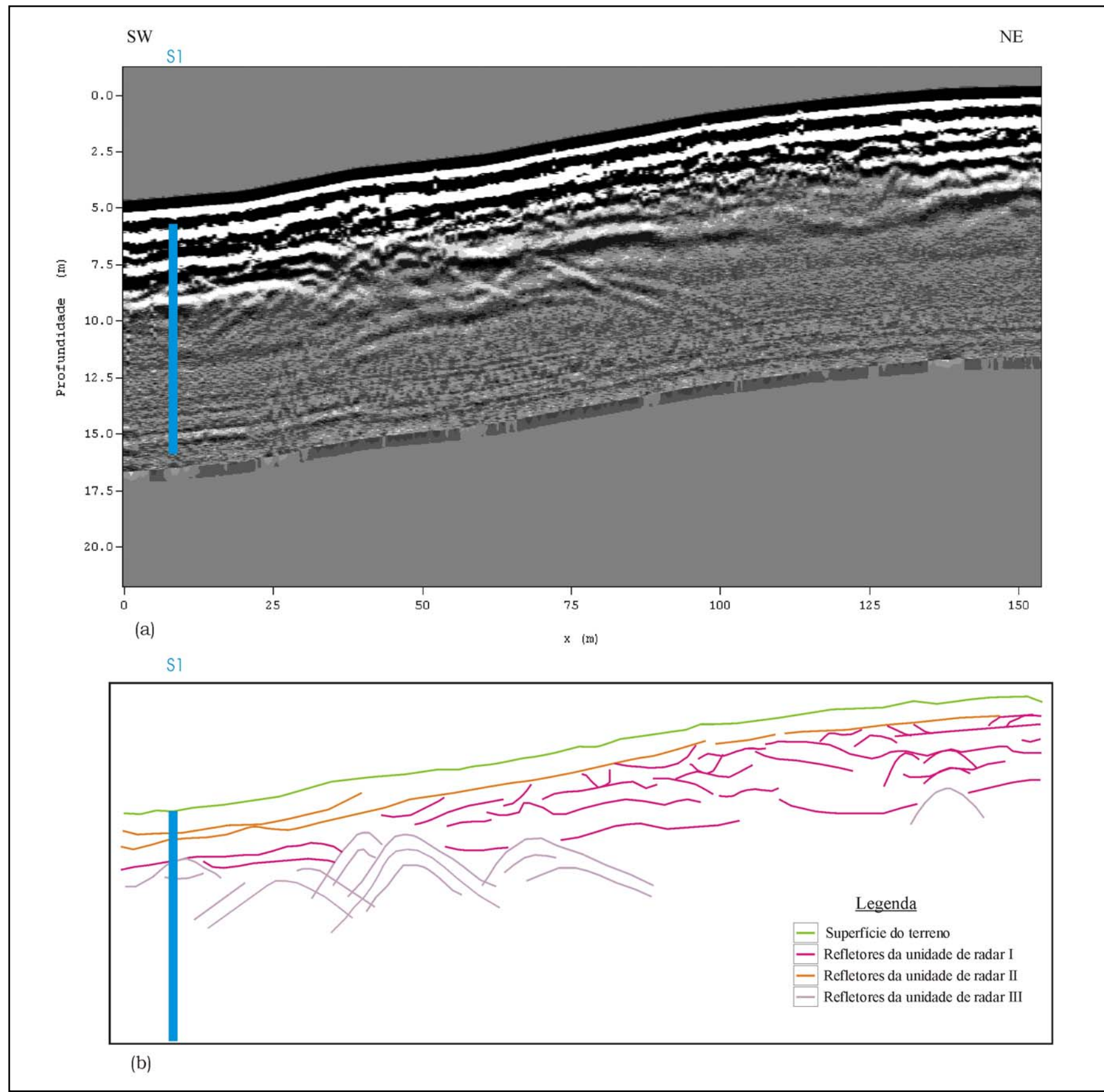


Figura 23: Seção Q-21; a) radargrama de reflexão; b) unidades de radar interpretadas.

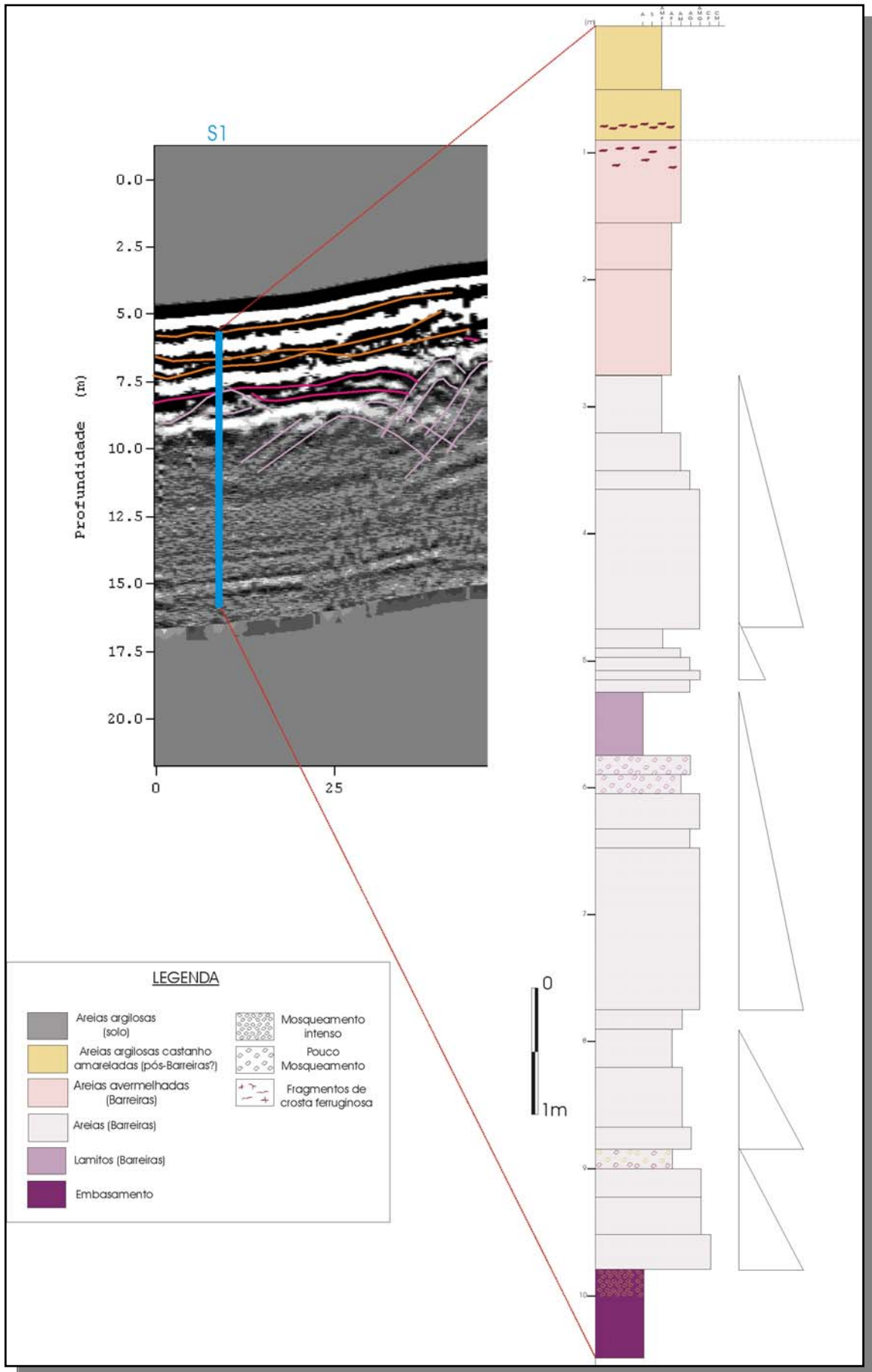


Figura 24: Sondagem Q21-S1.

VI. CONCLUSÕES

A partir do trabalho aqui efetuado, podem ser apresentadas conclusões em relação às técnicas de estudo empregadas e também sobre a caracterização da Formação Barreiras na região de Quissamã.

A técnica de prospecção por reflexão de ondas de radar (GPR) com antenas de frequência igual a 50MHz empregada neste estudo forneceu resultados satisfatórios, permitindo a obtenção de imagens contínuas e de boa resolução para as interpretações e etapas seguintes do trabalho.

As velocidades de propagação das ondas diretas de radar no solo foram similares àquelas identificadas por Madeira (2002) para depósitos cenozóicos litologicamente semelhantes estudados na bacia de Resende. As velocidades aqui obtidas permitiram calcular o alcance do equipamento em profundidade, o que pôde ser aferido através das sondagens realizadas. As profundidades estimadas para as feições de radar identificadas foram bastante próximas àquelas alcançadas na etapa de perfuração.

O trado mecânico demonstrou ser um instrumento adequado para a caracterização dos materiais em subsuperfície aqui estudados, permitindo a descrição e perfilagem até alcançar o embasamento, exceto quando o lençol freático foi atingido antes, o que dificultava ou mesmo impediu a recuperação dos materiais perfurados.

Através da interpretação dos radargramas pôde-se individualizar, satisfatoriamente, três unidades de radar distintas, que apresentaram padrões semelhantes nas quatro seções estudadas. Quando os resultados geofísicos foram integrados aos resultados das sondagens, estes padrões puderam ser associados a determinadas unidades estratigráficas. Cada unidade estratigráfica foi relacionada a um padrão específico de fácies de radar: (i) os depósitos da Formação Barreiras foram associados a um padrão de refletores ondulados, mais ou menos contínuos, de aspecto entrecruzado, com geometrias côncavas para cima; (ii) os sedimentos pós-Barreiras foram associados a

padrões de refletores contínuos, paralelos, às vezes pouco irregulares, que acompanham a superfície do terreno; (iii) as rochas do embasamento apresentaram um padrão de refletores marcado por feições de hipérboles, convexas para cima, ou refletores fortemente inclinados, paralelos, às vezes cruzados em “X”. No entanto, feições hiperbólicas amplas também puderam ser associadas a aspectos de forte mosqueamento ou foram provocadas pela interferência de objetos próximos.

As seções Q-10 e Q-12, na área da Fazenda Trindade, foram as que apresentaram informações mais completas do ponto de vista da relação entre os dados geofísicos e geológicos, mostrando, também, padrões de reflexão de radar de embasamento mais bem definidos.

Nas sondagens Q13-S1, Q13-S2 e Q21-S1, o limite entre os depósitos pós-Barreiras sobre a Formação Barreiras não foi assinalado por *stone-lines*, sugerindo que os materiais associados ao pós-Barreiras possam representar, nesta situação, perfil de alteração da Formação Barreiras.

A espessura máxima obtida para os depósitos da Formação Barreiras foi de cerca de 11 metros. Estes depósitos estão bem caracterizados por ciclos arenosos granodecrescentes, com grau variável de ferruginização. Foram descritas intercalações de camadas pouco espessas, em relação aos pacotes de areias, de lamitos argilosos, às vezes com bioturbação (tubos cilíndricos). A base dos depósitos da Formação Barreiras mostrou-se, em quase todos os perfis estudados, associada à presença de camadas de cascalhos finos. Nas seções Q-12 e Q-21, o contato da Formação Barreiras sobre o embasamento foi assinalado por pavimentos de cascalhos finos a grossos, bem arredondados, marcando a inconformidade.

Os sedimentos da Formação Barreiras descritos neste estudo podem ser interpretados como depósitos de canais fluviais, com pouca participação de sedimentos suspensivos ou por fluxos gravitacionais, concordando com a interpretação proposta por Morais (2001) para depósitos aflorantes na região de Quissamã.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADOR, E.S. 1982. Depósitos relacionados à Formação inferior do Grupo Barreiras no estado do Espírito Santo. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, Anais, **4**:1451-1460.
- AMADOR, E.S. & DIAS, G.T.M. 1978. Considerações preliminares sobre depósitos do Terciário Superior do norte do Espírito Santo. An. Acad.bras. Ci., **50**(1):121.
- ANDERSON, M.P., AIKEN, J.S., WEBB, E.K., MICKELSON, D.M. 1999. Sedimentology and Hidrogeology of two braided stream deposits. *Sedimentary Geology* 129, 187-199.
- ANNAN, P. 1992. Ground Penetrating Radar. Workshop notes. Sensors and Software, Canadá.80p.
- ASPIRON, U. & AIGNER, T. 1997. Aquifer architecture analysis using ground-penetrating radar: Triassic and Quaternary examples (S. Germany). *Environmental Geology* 31 (1/2): 66-75.
- CAETANO, L.C. 2000. Água subterrânea em Campos dos Goytacazes (RJ): uma opção para o abastecimento. Campinas, SP. (Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências)
- DANTAS, M.E. 2000. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM. CD-ROM.
- DAVIS, J.L. & ANNAN, P. 1989. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geoph. Prosp.* **37**: 531-551.
- FEITOSA, F.A.C. & FILHO, J.M. 2000. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza: 391p.
- FONSECA, M.J.G.; PEÇANHA, R.M.; JUNHO, M.C.; FRANCISCO, B.H.R.; SERRÃO, M.A. & DREHER, A.M. 1998. Unidades, complexos e corpos magmáticos pré-cambrianos. In: Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:400.000, Texto explicativo. Rio de Janeiro, DNPM/MME. P. 15-45.
- GALLOWAY, W. E. & HOBDAV, D. K., 1996. Facies Characterization of Reservoirs and Aquifers. Terrigenous clastic depositional systems: Springer-Verlag, New York, 490 p.
- HARARI, Z. 1996. Ground-penetrating radar (GPR) for imaging stratigraphic features and groundwater in sand dunes. *Journal of Applied Geophysics* 36, 43-52.
- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALEZ, S.R.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIA, RC.B.; PIRES, L.J.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H.E.F. 1983. Projeto RADAMBRASIL, Mapa

Geológico. 1:1.000.000. Folhas SF-23/24 - Rio de Janeiro/ Vitória. V.32, p.27-304.

- MADEIRA, C.V.; MELLO, C.L.; PILON, J.; MOURA, J.R.S. 1997a. O uso do GPR na estratigrafia de depósitos coluviais na região do médio vale do rio Paraíba do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, **6**, Curitiba (PR). 1997. Resumos Expandidos.... Curitiba, ABEQUA, p.194-198.
- MADEIRA, C.V.; MELLO, C.L.; PILON, J.; MOURA, J.R.S. 1997b. Applications of GPR to Quaternary sediments of Southeastern Brazil. International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 5, São Paulo (SP). Expanded Abstracts, ...v.1, p.544-546.
- MADEIRA, C.V. 2001. Estratigrafia e Arquitetura de Depósitos Sedimentares Quaternários no SE do Brasil, com base em Reflexão de Ondas de Radar. Rio de Janeiro. 269p. (Tese de Doutorado, Deptº de Geologia – IGEO/UFRJ).
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J.M.L. & FLEXOR, J-M. 1997. Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Belo Horizonte: CPRM. 112p.: il, mapas.
- METELO, C.M.S. 1998. Preenchimento Sedimentar de Paleovales Fluviais na Área do Sistema de Lagos do Médio Vale do Rio Doce (MG). Rio de Janeiro, 101p. (Monografia de Graduação, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- MIALL, A.D. 1990. Principles of sedimentary basin analysis. 2.ed. New York, Springer-Verlag, 668p.
- MITCHUM, R.M., VAIL, P.R., THOMPSON S. 1977. Seismic stratigraphy and global change of sea level – part 6 – stratigraphical interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. Am. Assoc. of Petrol. Geol. Memoir 26. p. 117-133.
- MORAIS, R.M.O. 2001. Estudo Faciológico da Formação Barreiras na região entre Maricá e Barra de Itabapoana, estado do Rio de Janeiro, 113p. (Dissertação de Mestrado, Depto. Geologia – IGEO/UFRJ).
- SILVA, M.A.M.; FERRARI, A.L.; PENHA, H.M.; SILVA, T.M.; DAYAN, H. & MORETTI, C.L.F. 1997. Subprojeto 4 - Compartimentação tectônica e linhas de costa associadas. Litoral entre Cabo Frio e Barra do Itabapoana, RJ. In: SILVA, C.G. (Coordenador), Compartimentação Tectônica entre as Bacias de Campos e Santos: O Papel da Zona de Fratura do Rio de Janeiro e do Magmatismo do Alto de Cabo Frio. Niterói, LAGEMAR, Instituto de Geociências/Universidade Federal Fluminense, p. 96-133. (Relatório final do convênio PADCT/FINEP/UFF-65930433-00).

- SILVA, L. C. & CUNHA, H.C.S. 2001. Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM. CD-ROM.
- TAMARA, G. 1995. Contribuição ao Estudo do Grupo Barreiras na Região Metropolitana de Vitória (ES). Rio de Janeiro, 73p. (Dissertação de Mestrado, Depto. Geologia - IGEO/UFRJ).
- VIEIRA, R.A.B.; MENDES, M.P.; VIEIRA, P.R.; COSTA, L.A.R.; TAGLIARI, C.V.; BACELAR, L.A.P. & FEIJÓ, F.J. 1994. Estratigrafia das Bacias Sedimentares do Brasil: bacias do Espírito Santo e Mucuri. B. Geoci. PETROBRAS, Rio de Janeiro, **8**(1):191-202, jan./mar.