



## Método GPR aplicado para delinear o lençol freático em praias estuarinas e fluviais.

Karolina Almeida Correia(FaGeof/Ufpa)\*, Marcos Welby Correa da Silva(Cpgf/Ufpa), Ivson Roberto Viana da Cunha(Ufpa), Artur Gustavo Oliveira de Miranda (MPEG), Amilcar Carvalho Mendes (MPEG), Estanislau Luczynsky(Ufpa)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

**We present the GPR method applied to identify and perform a 24-month water table monitoring at 3-month intervals in coastal environments more sensitive to possible hydrocarbon leaks. We used a GSSI equipment (200 MHz antenna) to acquire the GPR's profiles. This study will help to draw up a contingency plan for each type region. The application of the method throughout this period proved effective in delineating the water table in coastal environments.**

### Introdução

No começo dos anos 2000, o Ministério do Meio Ambiente definiu normas e medidas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para desastres relacionados à petróleo e derivados na zona costeira e marinha, para tentar reduzir os impactos que o meio ambiente poderia sofrer com possíveis derramamentos de óleo.

Cidades litorâneas da região metropolitana de Belém-PA tem um alto tráfego de navios e estão situados em zonas portuárias com grande potencial a eventos envolvendo vazamento de hidrocarbonetos, e um estudo sobre o quão sensível é cada ambiente a um desastre como este foi feito afim de elaborar um plano de contingência com medidas que se fazem necessárias dependendo de cada ambiente sedimentar.

A penetração por derivados do petróleo em praias arenosas depende, dentre outros fatores, da permeabilidade do substrato, função das características granulométricas e das características físicas do óleo (DAVIES & TOPPING, 1995) e da profundidade do lençol freático (HAYES & MICHEL, 1999; OLIVEIRA & VINZON, 2003).

Outra preocupação quanto a desastres desta magnitude, seria a contaminação de poços de água e do lençol freático de famílias que habitam a região litorânea de Belém e região metropolitana, devido a esses fatores o estudo e monitoramento do lençol freático é de suma importância para que em caso de acidentes, as medidas necessárias sejam providenciadas pelo Governo do Estado.

Sendo assim, o método GPR (Ground Penetration Radar), foi aplicado afim de monitorar e identificar a zona

freática em ambientes fluviais e em ambientes estuarinos onde oceano tem influência em específicos meses do ano, contribuindo assim para estudos sobre como possíveis contaminações de óleo, dependendo do período do ano, afetariam o lençol freático da região.

### Localização e Caracterização da Área de Estudo

As cidades selecionadas para fazer este estudo/monitoramento de nível d'água são consideradas portuárias e com grande movimento de navios.

A praia do Caripi (Figura 1) está localizada no município de Barcarena/PA, e sob influência do rio Pará. Segundo Saldanha (2009) apresenta características morfodinâmicas típicas de praia reflectiva a intermediária. A praia é fortemente influenciada por correntes de maré e ondas baixas (altura <1 m), provindas do NE (ROCHA, 2013 apud OLIVEIRA, 2014).

A praia do Farol Velho localizada na Ilha de Mosqueiro que está aproximadamente a 35km de Belém, é uma região que ainda ocorre bastante o tráfego de navios de grande porte (Figura 1). Esta região possui uma geologia que apresenta uma camada de sedimentos argiloarenosos esbranquiçados e cinza escuro com tons amarelados e avermelhados devido ao intemperismo. Logo acima da base ocorre a rocha laterizada argilito goethizado, sobreposto ao argilito encontra-se o arenito, caracterizado por areia granulosa e conglomerados e a base se seixos de quartzo contendo na matriz material siltiargiloso. Na camada arenosa ocorre estratificações cruzados de pequeno e médio porte, estruturas de escavações e espinha de peixe.

### Metodologia

O sistema GPR é constituído por uma unidade de processamento e antena transmissora e receptora. Ele utiliza ondas eletromagnéticas (EM) de alta frequência (10 a 2500 MHz) para localizar ou delinear estruturas, feições geológicas e objetos em sub-superfície. Como este método faz uso de frequências altas, a profundidade de investigação é limitada variando de pouco centímetros a cerca de uma dezena de metros, em contrapartida com este método, a resolução do dado se torna alta.

O princípio físico deste método consiste na emissão de onda EM de alta frequência em curto pulso dentro da antena transmissora (Tx). As variações das propriedades elétricas do meio fazem com que parte deste sinal seja refletido e outra parte seja refratado, as ondas refletidas por sua vez são captadas pela antena receptora (Rx).

A energia que foi registrada será em função do tempo duplo da onda (tempo de percurso) e da amplitude do sinal registrado, geralmente o dado captado no campo é

amplificado, digitalizado e armazenado em uma unidade computacional, e é denominado radargrama.

Logo depois das devidas etapas de processamento, para que haja uma melhor interpretação é necessário conhecer dois parâmetros: 1) o tempo de trânsito entre o início e a chegada da onda refletida e 2) a velocidade da propagação da onda eletromagnética no meio. O tempo de trânsito é fornecido durante a aquisição dos dados, enquanto a velocidade de propagação é controlada pela constante dielétrica dos materiais em subsuperfície.

Após as aquisições de GPR os dados são processados no *software Reflexw-Win7.0* seguindo a rotina de processamento 1) Interpolação das marcas horizontais 2) Correção Estática (set time zero) 3) Filtros 1-D PassaBanda (*Butterworth, Frequency*), Dewow 4) Background Removal 5) Filtragem F-k. Os dados foram editados, reamostrados espacialmente e houve a interpolação dos traços. Logo em seguida, os filtros Passa Banda (*Butterworth e Frequency*) foram aplicados com intuito de remover os ruídos de baixa frequência e alta frequência. O filtro Dewow (*subtract-mean*) elimina grande parte das baixas frequências associadas a saturação do sistema de registro, causadas pela grande amplitude das ondas diretas no ar e no solo. Para a eliminação dos refletores horizontalizados muito comuns nos perfis de GPR foi usado o *Background Removal*. Por fim a última etapa de processamento foi feito o *Filtro Fk*, que gera um *fk-spectrum* o qual realiza a transformada de Fourier dos dados do domínio tempo-espaco para o domínio frequência – número de onda, essa técnica foi feita para atenuar os ruídos de reverberações.

Sobre a relação entre os ambientes fluvial/estuarinos e dados adquiridos nestes ambientes, Lani *et al.* (2005) fez estudos sobre dinâmica do lençol freático no delta do rio Doce, verificando a eficiência do método de GPR no comportamento da profundidade do lençol freático ao longo de um canal de drenagem.

Sendo assim o uso da tecnologia do Geo-radar consegue delinear aproximadamente a zona de capilaridade em que se encontra o nível freático, ou seja há uma faixa de transição entre o meio insaturado e o meio saturado com água doce e é isto que iremos verificar com os resultados apresentados neste artigo.

## Resultados

A pesquisa teve início no mês de Fevereiro de 2015 e o término em Março de 2016, realizando medidas em intervalos de 3 meses, totalizando 5 campanhas ao longo desse período. (Figura 2)

Em todos os levantamentos utilizou-se a antena de 200Mhz biestática blindada utilizando o sistema SIR-3000, produzido pela *Geophysical Survey Systems, Inc (GSSI)*, a aquisição dos dados foi em *common offset* (afastamento comum), a amostragem temporal (range) era definido de acordo com o modo que a onda se comportava no meio, variando em intervalos de 80ns a 200ns ao longo dos meses de levantamentos.

A velocidade média do meio estimada para a Praia do Caripi foi de 0,097m/ns no meio saturado, aproximou-se através da superposição de hipérbolas encontradas nos perfis. Já a velocidade média para a Praia do Farol Velho

foi aproximada para o meio saturado 0,095m/ns também por estimativa hiperbólicas.

## Praia do Farol Velho

A praia do Farol de ambiente estuarino, ou seja, zona de transição que sofre tanto com a influência do oceano quanto com a de rios foram obtidos os perfis de GPR.

Na primeira campanha (Março, 2015), a linha de aquisição possui um comprimento de 54 metros com marcações de 10 em 10 metros e a última marcação com 4 metros. A janela de tempo é de 100ns para que haja uma melhor interpretação. É importante destacarmos que existe um declive em 28,5 metros de distância em todos os perfis realizados na praia do Farol.

O método GPR conseguiu delinear o nível d' água e no perfil adquirido neste mês foi de 1,9 metros de profundidade em relação ao ponto do início do perfil. Foi destacado na Figura 3 uma anomalia hiperbólica. (utilizada para fazer a correção de profundidade).

Na segunda campanha (Junho, 2015) o estudo foi feito com o perfil de 52 metros com marcações de 10 em 10 metros e a última de 2 metros (Figura 4). O range utilizado para a aquisição foi de 150ns. Neste dado foi feita a correção do nível do lençol freático, e está na faixa de 2 metros de profundidade em relação ao ponto inicial do perfil.

Ainda é possível observar o mesmo padrão hiperbólico no final do perfil que destacamos na primeira campanha.

Na terceira campanha (Setembro, 2015) o levantamento foi feito um perfil de 55 metros perpendicular a linha da praia, com um range de 180ns (Figura 5). A zona em que o nível do lençol está é aproximadamente 2 metros de profundidade em relação a superfície. Foi possível observar que neste perfil houve uma faixa de atenuação do sinal do GPR que possivelmente pode estar relacionada com a presença de quantidades elevadas de sal na água, já que em meses mais secos do ano a salinidade tem uma influência maior sob as águas doces devido a escassez de chuvas, este tipo de fenômeno só confirma o quanto o oceano influencia em água fluviais em ambientes estuarinos.

Na quarta campanha (Novembro de 2015) foi adquirido um perfil de 60 metros de comprimento com um range de 180 ns, a faixa em que se encontra o nível se localiza aproximadamente em 2 metros de profundidade em relação ao ponto inicial do perfil (Figura 6). A mesma zona de atenuação foi identificada a partir dos 30 metros de comprimento no perfil, que como já dito, pode estar relacionada com a salinidade da água.

Na quinta campanha (Março de 2016) a aquisição do perfil foi feita em uma linha de 40 metros de comprimento, com um range de 180ns (Figura 7). Como estávamos na época chuvosa na região o nível do lençol freático subiu para 1 metro de profundidade em relação a superfície, e faixa em que o sinal do GPR estava atenuada nos últimos perfis, desta vez não foi identificada. Podemos observar o refletor horizontalizado que se mostrou durante todos os levantamentos está presente também neste último perfil associado a rochas ferruginosas que afloram em alguns pontos da praia do Farol.

## Praia do Caripi

Diferentemente a praia do Caripi de ambiente marinho fluvial está fortemente influenciado por rios e canais de água doce.

Na primeira campanha (Março, 2015) o perfil é adquirido em uma linha de 37 metros perpendicular a linha da praia, com uma janela de tempo de 200ns. A zona do nível d' água na região está na faixa de 1m de profundidade. Foi realçado como podemos observar na Figura 8, uma zona de refletores levemente inclinados que se associa a corpos maciços de sedimentos rochosos.

Em Junho de 2015 (Segunda Campanha) o estudo foi com um dado de 50 metros de comprimento e um range de 200ns. A faixa em que o nível do lençol está é entre 1 e 1,4 metros de profundidade variando com a topografia da praia. Observou-se que há um refletor inclinado no final do perfil, que pode estar associado há uma camada de rocha laterizada, destacou-se na Figura 9 ainda concreções de corpos rochosos maciços.

Na terceira campanha (Setembro, 2016) o levantamento foi realizado em uma linha de 45 metros de comprimento com um range de 180ns, o nível aumentou e está na faixa de 2,2 metros aproximadamente, é coerente já que o dado coletado foi em um período com menos chuvas na região. Há uma região em que o sinal atenua observado na Figura 10, podendo estar ligado há acúmulo de argila, ou concentração de água com sais.

Em Novembro de 2015 o perfil adquirido foi de 50 metros de comprimento, com uma janela de tempo de 150 ns (Figura 11). A faixa do nível do lençol se localiza aproximadamente em 1,7 metros de profundidade. Neste perfil se ressaltam refrações (hipérbolos) entre 35 e 40 metros que se pode inferir que sejam blocos de rochas espessos.

A última campanha realizada em Março de 2016 a linha que feita foi de 60 metros com um range de 180ns. A zona que o nível do lençol está é aproximadamente 1,5 metros (Figura 12), há refletores bem demarcados no perfil entre 30m e 35m como podemos observar a presença de hipérbolos e estruturas inclinadas possivelmente associados a fragmentos de rocha maciça.

## Conclusões

No município de Mosqueiro na Praia do Farol Velho, os perfis realizados identificaram da zona do nível freático em todas as campanhas e ainda estruturas sedimentares associadas ao ambiente de praia. No período seco o máximo do nível freático chega a 2 metros de profundidade, na época chuvosa o máximo da faixa onde se localiza o lençol é 1,5 metros em relação a superfície. Na praia do Caripi, o ambiente é fluvial portanto, nos perfis feitos, foi possível delinear melhor a zona em que o nível freático se encontra em cada campanha. No período com chuvas, em relação a superfície o nível do lençol foi no máximo de 1,5 metros. Já nos meses mais secos, em relação a superfície seu máximo foi na faixa de 2,2 metros.

O trabalho apresentado tinha por objetivo monitorar o nível do lençol freático em praias arenosas oceânicas, estuarinas e fluviais, e as medidas foram satisfatórias

para que houvesse um estudo de como o nível se comporta em certas épocas do ano em ambos os ambientes.

## Agradecimentos

Ao Governo do Estado do Pará, que através da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA), fomentou financeiramente o desenvolvimento do projeto "Permeabilidade de praias arenosas amazônicas a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos" que deu suporte ao presente trabalho, assim como pela concessão da bolsa de iniciação científica.

Ao Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Pará por ter nos fornecido o aparelho de GPR.

A todos os professores, pesquisadores e estudantes que contribuíram para as coletas fossem realizadas.

## Referências

**LUCZYNSKY, Estanislau.** Mapeamento de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Zona Costeira e Marinha. Projeto de Pesquisa Disponível em:

<<http://homologw.mma.gov.br/index.php?id=conteudo.monta&idEstrutura=31>>. Acesso em: 10 Jul. 2015.

**BORGES, M.S. & ANGÉLICA, R.S. 1986.** Levantamento geológico na ilha de Mosqueiro- Estado do Pará. Universidade Federal do Pará.

**DAVIES, J. M. & Topping, G. 1995.** O impacto de um derrame de óleo em águas turbulentas: O Braer. Rio de Janeiro, FEMAR.

**HAYES, M. O. & MICHEL, J.** Factors Determining the Long-Term Persistence of Exxon Valdez Oil in Gravel Beaches. Marine Pollution Bulletin v. 38 n. 2: p. 92-1001, 1999.

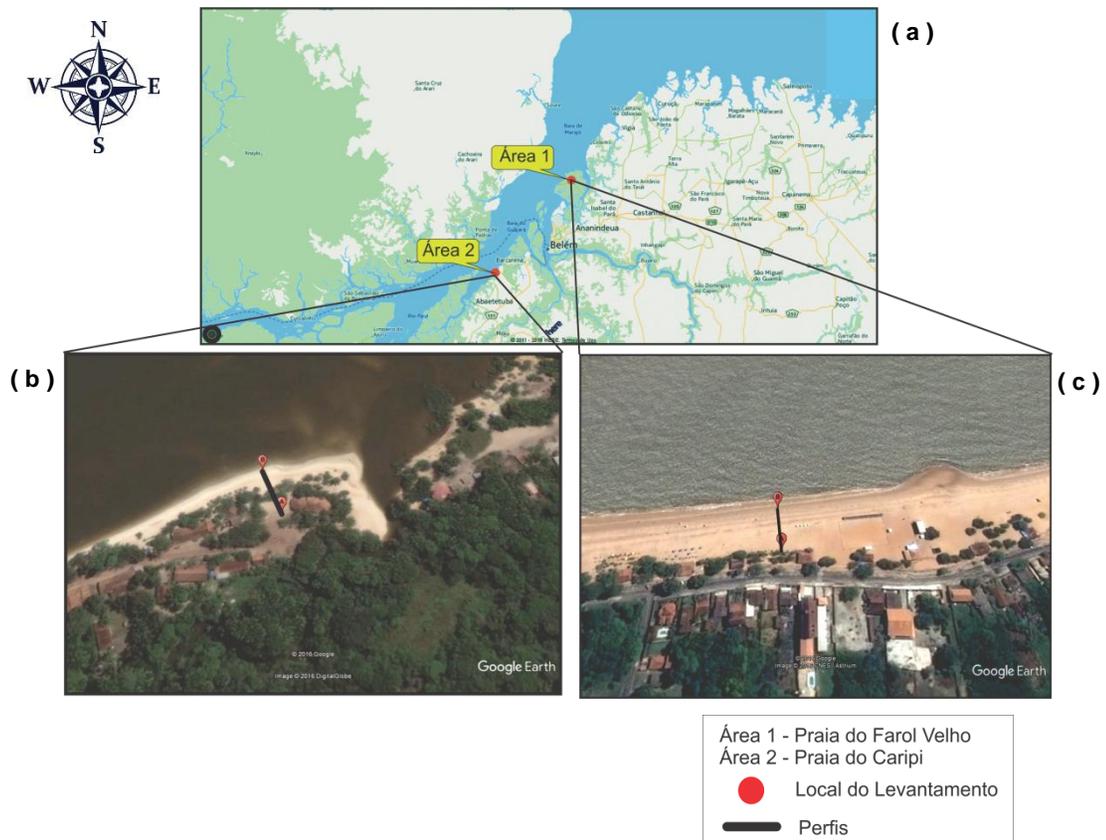
**FURTADO, C. P. ,** Processamento e modelagem de dados de GPR utilizando o Reflexw 4.5. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, 2009

**JOL, H. M.** Ground Penetrating Radar: theory and applications. Amsterdam: Elsevier Science, 2009.

**LANI, J.L.; FRANCELINO, M.R.; ARANHA, P.; ROSADO, V.B.; VILARINHO, E.** Uso de GPR na identificação da profundidade do lençol freático e na mudança textural. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2005.

**OLIVEIRA, A. M.** Permeabilidade de Praias Fluviais e estuarinas Amazônicas a Eventuais Derrames de Derivados de Hidrocarbonetos: O Caso das Praias Grande (Ilha de Outeiro-PA) e Caripi (Barcarena-PA). 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Pará.

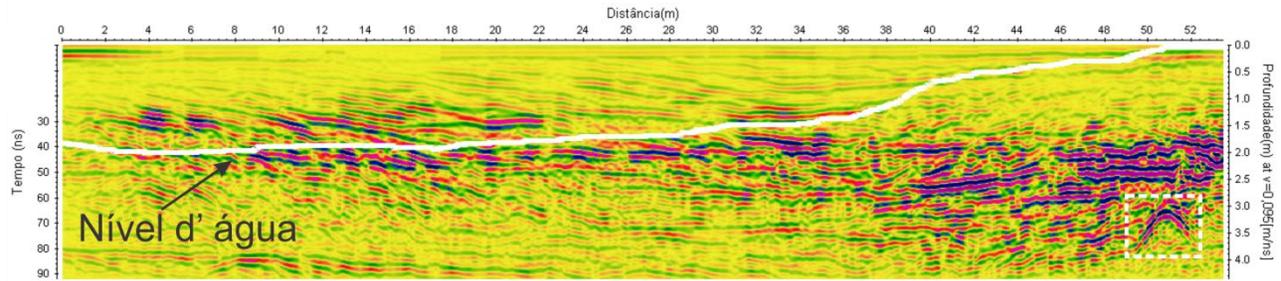
**SANDMEIR, K. J.** Manual do software REFLEXW – version 6.0. Karlsruhe, [s.n.], 2011.



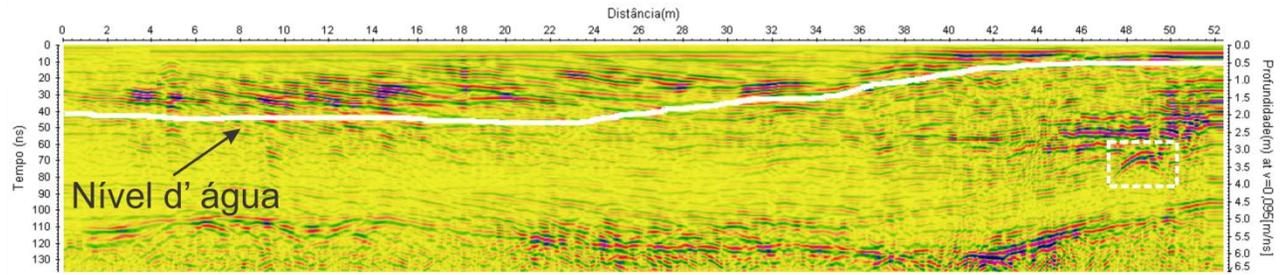
**Figura 1** - Localização das zonas costeiras onde foram realizados os levantamentos de GPR, (a) Mapa local (b) Praia do Caripi, (c) Praia do Farol Velho.



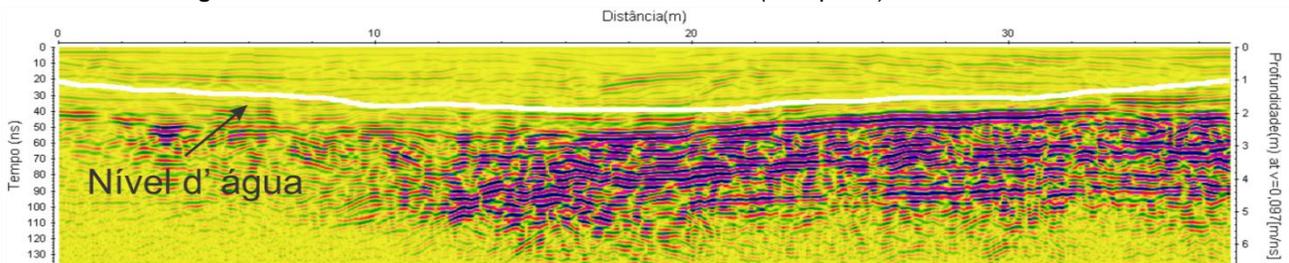
**Figura 2** - Os ambientes costeiros (a) Praia do Caripi Barcarena/PA (b) Praia do Farol Velho Mosqueiro/PA (c) Coleta de Campo



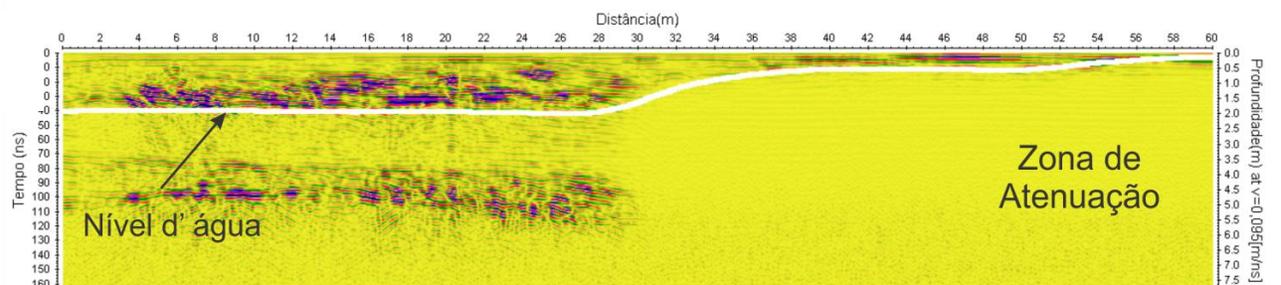
**Figura 3** – Perfil de 54 metros coletado na Praia do Farol (Mosqueiro) em Março de 2015.



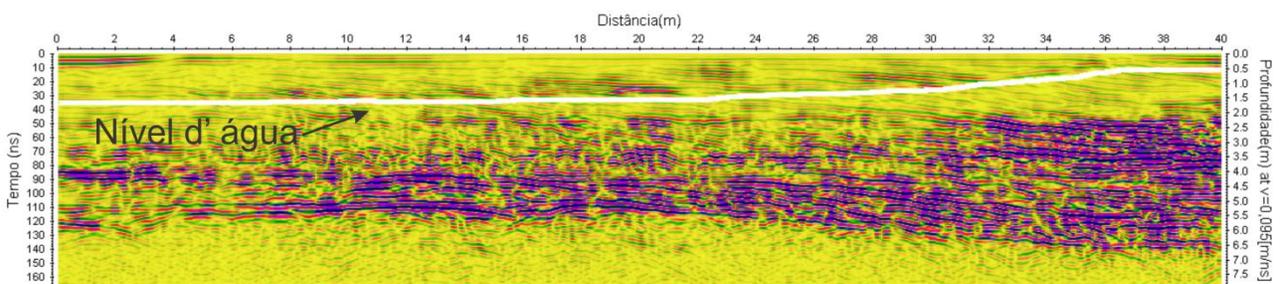
**Figura 4** - Perfil de 52 metros obtido na Praia do Farol (Mosqueiro) em Junho de 2015.



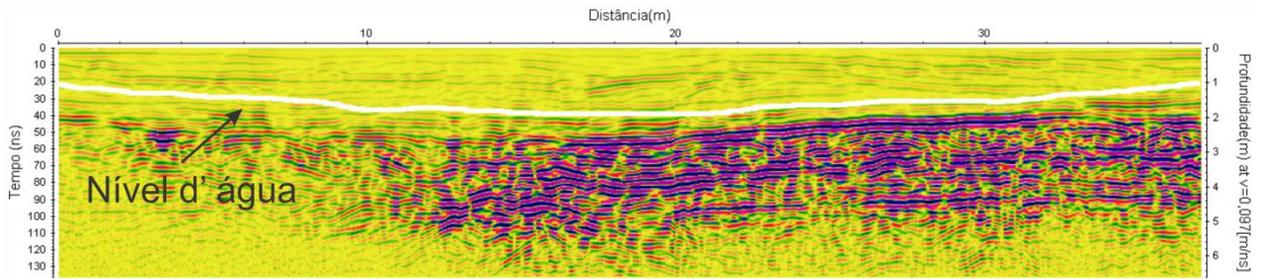
**Figura 5** – Perfil de 55 metros coletado na Praia do Farol Velho (Mosqueiro) em Setembro de 2015.



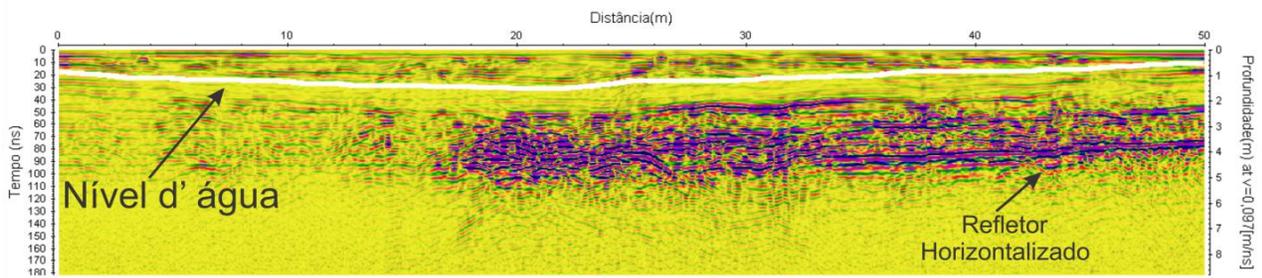
**Figura 6** – Perfil de 60 metros na Praia do Farol Velho (Mosqueiro) em Novembro de 2015.



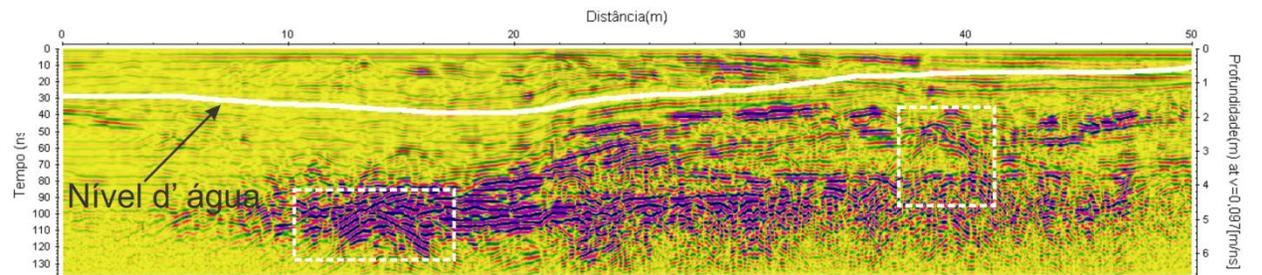
**Figura 7** – Perfil de 40 metros na Praia do Farol Velho (Mosqueiro) em Março de 2016.



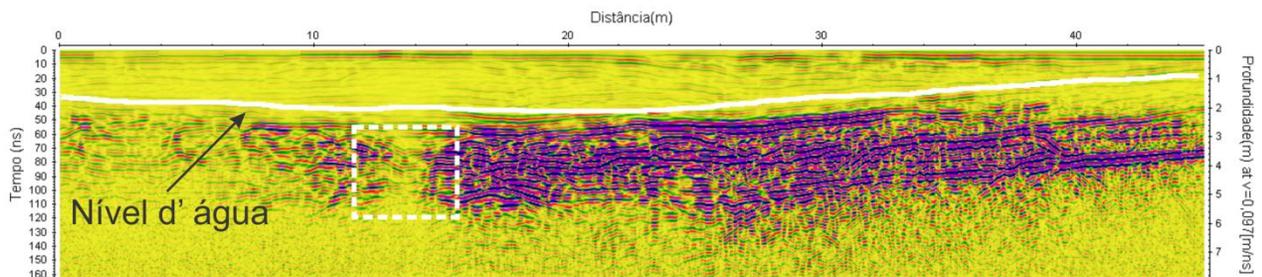
**Figura 8** – Perfil de 37 metros feito na Praia do Caripi (Barcarena) em Março de 2015.



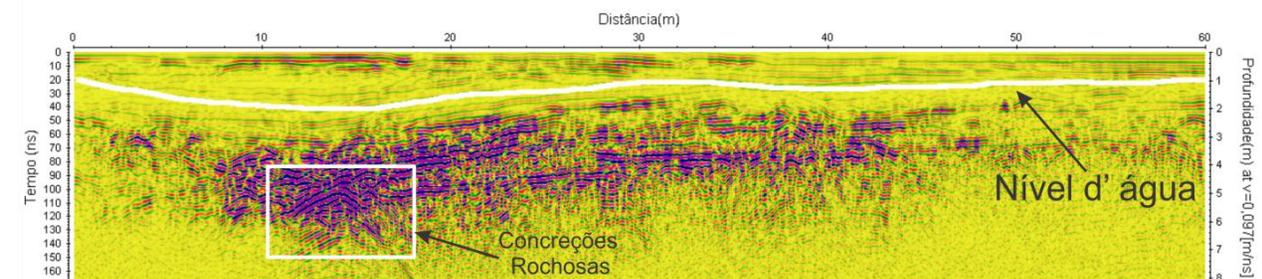
**Figura 9** – Perfil de 50 metros obtido na Praia do Caripi (Barcarena) em Junho de 2015 .



**Figura 10** – Perfil de 45 metros coletado na Praia do Caripi (Barcarena) em Setembro de 2015.



**Figura 11** – Perfil de 50 metros coletado na Praia do Caripi (Barcarena) em Novembro de 2015.



**Figura 12** – Perfil de 60 metros coletado na Praia do Caripi (Barcarena) em Março de 2016.