



## Imageamento de dutos e dunas com o radar de penetração no solo (GPR)

Jalyson Alvares Mota (DGEF/UFRN), Josibel Gomes de Oliveira Júnior (DGEF/UFRN)

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<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

**This research is about the application of the GPR method (Ground Penetrating Radar) to map underground influences with a focus on the imaging ducts below a dune within the limits of the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN). This activity was conducted in four distinct steps: the first step included an initial study that related the applicability of the GPR method to the proposed problem and the defined fundamental parameters of data acquisition. The second step was characterized by a collection of 3D geophysics data, composed of twenty parallel lines, spaced one meter apart. In the third step, the data obtained was processed with the software REFLEX for Windows. In the fourth and last step, the processed data was interpreted based on 2D sections and 3D blocks. With the obtained results, it was possible to clearly identify two ducts, a hyperbolic reflector associated with a third duct or a isolated target, typical dune sediment structures, and a rectangular anomaly interpreted as a suspension base for the ducts.**

### Introdução

Neste trabalho o método GPR foi utilizado para determinar a posição de antigos dutos enterrados em uma área localizada dentro dos limites da UFRN (Figura 01), através da interpretação de seções 2D e de um bloco 3D. Adicionalmente, devido à boa qualidade dos dados, também foi possível identificar algumas estruturas sedimentares típicas de dunas arenosas, ambiente sedimentar sobre o qual os dados foram coletados e considerado ideal para a aplicação do georadar devido à baixa atenuação imposta à propagação de pulsos eletromagnéticos. Trabalhos anteriores mostraram que o GPR apresentou excelentes resultados quando aplicado em situações como essa (Pinto et al., 2006; Porsani et al., 2006); Bristow et al., 1996; Brstow & Jol 2003; Neal & Roberts, 2000), possibilitando identificar *foresets* individuais e superfícies limitantes de primeira, segunda e terceira ordens (Oliveira Jr, 2001; Araújo, 2006).

### Metodologia

A aquisição dos dados foi realizada com o equipamento SIR 3000, fabricado pela *Geophysical Survey Systems Incorporate* (GSSI), que pertence ao Departamento de Geofísica da UFRN. O sistema é constituído por uma unidade de controle digital, cabos de conexão e uma antena blindada de 200 MHz.

Ao todo foram levantadas 20 seções de GPR (Figura 1), espaçadas por 1m, transversais a suposta direção dos dutos enterrados. Ao final do levantamento foi possível construir um bloco 3D. A técnica utilizada na coleta dos dados foi a de reflexão, no modo distância. Esta técnica consiste em manter fixa a distância entre a antena transmissora e receptora, ao longo de uma direção preferencial.

Já o processamento dos dados foi composto por seis etapas distintas, definidas com base no trabalho de Xavier Neto (2005): Ajuste do tempo zero, *dewow*, aplicação de ganhos para correção dos efeitos de propagação, ajuste de velocidades, migração e filtragem. Este processamento teve por finalidade preservar e corrigir distorções da imagem, atenuando ruídos provenientes da saturação do sinal e de possíveis interferências geradas por alvos que interagem com o pulso eletromagnético. O programa utilizado foi o software REFLEX 1.4 (Sandmeier, 2000).

### Resultados

Após o processamento dos dados foi realizada a interpretação das seções 2D e do bloco 3D. De um modo geral, todas as seções 2D apresentaram bons resultados, permitindo identificar claramente os dutos enterrados por meio de refletores hiperbólicos. Adicionalmente, a análise do bloco 3D permitiu mapear a continuidade lateral desses dutos, a presença de uma possível base de sustentação, *foresets* e o mergulho de uma paleoduna aflorante no local.

A Figura 2 mostra uma seção 2D sobre um segmento da linha L1 (Figura 1). Observam-se dois refletores hiperbólicos (marca 1a), tipicamente associados a alvos isolados e formados a partir da difração das ondas eletromagnéticas. As posições correspondentes aos ápices das hipérbolas estão relacionadas com o menor tempo duplo de propagação do sinal GPR, ou seja, a posição em que a antena está exatamente sobre os corpos difratores, neste caso os dutos. O primeiro duto localiza-se sob a posição 6m e o segundo entre as posições 7m e 8m. Além dos dois dutos, também é possível identificar um forte refletor, aproximadamente plano, interpretado como o topo de uma antiga duna (marca 2I). Cabe ressaltar que, em todas as vinte seções que compõe o levantamento de GPR, são observados

refletores semelhantes, porém, associados a diferentes tempos duplos de propagação.

A interpolação das seções 2D permitiu compor um bloco 3D (Figura 3) que constitui uma maneira de visualizar o conjunto de dados obtidos sobre toda a área de estudo. A partir desse bloco será possível interpretar os dados em função de *timeslice*/diagramas de cercas (Figura 4 e 5) e em cadeira (Figura 7). Adicionalmente, espera-se investigar melhor o mergulho da paleoduna e também mapear a continuidade lateral dos dutos. Além disso, pretende-se obter informações acerca de estruturas sedimentares associadas à direção de paleoventos.

Na interpretação das seções 2D, associou-se o ápice dos refletores hiperbólicos com a presença de dutos em subsuperfície. No entanto, questões relacionadas ao mergulho e a continuidade lateral desses dutos permaneceram sem resposta. Nesse sentido, a interpretação 3D se mostrou essencial para respondê-las.

Analisando o topo do bloco 3D (Figura 3), observa-se a presença de dois dutos cortando a área de norte a sul (marca 1S) e que são melhor visualizados na Figura 4, *timeslice* 4ns (marca 1S). Além disso, os mesmo dutos podem ser claramente identificados por meio das duas hipérbolas presentes na face externa do bloco, em torno do tempo 10ns (marca 1la, Figura 3). Comparando estas informações percebe-se que os dutos apresentaram uma leve inclinação em direção ao norte, onde estão posicionados em uma maior profundidade.

Além dos dois dutos identificados nos dados de GPR, a Figura 5 mostra um terceiro refletor hiperbólico (marca 1lb). Nem as seções 2D e nem uma análise criteriosa do bloco 3D permitiu definir a natureza desse refletor. Há, então, duas possibilidades para explicá-lo: A primeira relaciona-o a um alvo isolado, presente em subsuperfície. A segunda consiste em interpretá-lo como um terceiro duto que cruza toda a área de estudo sob os dois dutos principais, fato que dificultaria sua visualização. Ainda na Figura 5, observa-se uma anomalia retangular (marca 3S) abaixo dos refletores hiperbólicos (marca 1la e 1lb). A julgar por sua forma e localização, acredita-se que pode se tratar de uma base para sustentação dos dutos.

Embora o objetivo deste trabalho seja investigar interferências no subsolo e não estruturas internas de dunas usando GPR, cabe apresentar uma breve descrição de algumas estruturas sedimentares visualizadas nos dados e que permitiram, inclusive, investigar alterações no regime dos ventos dominantes na área.

Inicialmente, observe que na área do levantamento é clara a presença de uma superfície de coloração escura, localizada entre as partes iniciais das seções L18 e L17 (Figura. 6). Por meio do bloco 3D esta mesma superfície aparece como uma forte anomalia (marca 2S nas Figuras 3, 4 e 7) que foi interpretada como o topo de uma paleoduna e causada devido ao contraste dielétrico existente entre os sedimentos mais jovens e os mais antigos, provavelmente mais oxidados.

Além da superfície associada à topografia da paleoduna (Figura 3, marca 2l), os dados de GPR

também mostram um conjunto de refletores paralelos, com forte mergulho para oeste (marcas 4la, 4lb e 4l, nas Figuras 4, 5 e 7). Estes mesmos refletores também podem ser visualizados por meio de *timeslices*, como mostram as Figuras 5 e 7 (marcas 4S, 4Sa e 4Sb). Com base em estudos sobre migração de dunas no Rio Grande do Norte (Oliveira Jr, 2001; Araújo, 2006), estes refletores foram interpretados como pequenos estratos sedimentares, denominados *foresets*, e que são rotineiramente tomados como indicadores da direção dos ventos dominantes, estando, portanto, intimamente relacionados ao processo evolutivo da área. Particularmente, ao comparar as marcas 4Sa e 4Sb (Figura7), percebe-se que houve uma mudança no regime dos ventos predominantes na área. Enquanto a marca 4Sa indica que os paleoventos sopravam na direção sudoeste, a marca 4Sb mostra claramente mudança para oeste.

## Conclusões

Os dados apresentados neste trabalho confirmaram a viabilidade do GPR em estudos voltados para a localização de objetos enterrados e também para o imageamento de estruturas sedimentares em dunas. A determinação criteriosa dos parâmetros de aquisição e a utilização do método sobre um ambiente geológico com excelentes condições à propagação de pulsos eletromagnéticos podem ser apontados como os principais fatores responsáveis pela qualidade dos dados.

Foram realizadas 20 seções de GPR, com antena blindada de 200 MHz, sobre uma duna localizada dentro da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Estas seções foram processadas e, posteriormente, interpretadas em duas (2D) e três dimensões (3D).

Em todas as seções 2D foram identificados dois refletores hiperbólicos, interpretados como dutos. Estes dutos cortam a área de estudo de N-S, com mergulho aparente na direção norte. Além desses dois refletores hiperbólicos, algumas seções também mostraram uma terceira hipérbole. No entanto a análise 2D, isoladamente, não permitiu uma interpretação conclusiva sobre sua natureza.

As seções 2D também mostraram dois tipos de estruturas sedimentares marcantes. O primeiro tipo está associado a um forte refletor plano, interpretado como a superfície de uma paleoduna. A ocorrência desse refletor se dá por volta dos 35ns (seções localizadas ao norte) e 20ns (seções localizadas ao sul da área de estudo). A diminuição desse tempo observado sugere um mergulho dessa superfície para norte. O segundo tipo consiste em refletores mergulhando para oeste, interpretados como pequenas lâminas (*foresets*) relacionadas ao processo de formação da duna, sendo um indicador da direção dos ventos dominantes na área.

Uma análise integrada das seções 2D e do bloco 3D permitiu mapear a continuidade lateral dos dutos e da paleoduna, confirmando seus mergulhos para o norte. Porém nenhuma interpretação conclusiva foi alcançada quanto a natureza do terceiro refletor hiperbólico, observado em algumas seções 2D. No entanto, parece haver duas possibilidades razoáveis: A primeira relacioná-lo a um alvo isolado, com pouca continuidade

lateral. A segunda em interpretá-lo como um terceiro duto que cruza toda a área sob os dois dutos principais, fato que dificultaria sua visualização.

Quanto aos *foresets* a análise integrada permitiu identificar a mudança na direção de migração da duna, de sudeste para oeste, fato associado à alteração do regime dos ventos dominantes durante a evolução da duna.

Uma suposta base de sustentação dos dutos foi identificada como uma anomalia retangular, logo abaixo dos dutos, na qual só foi possível ser observada após a visualização dos dados no bloco 3D.

Por fim, conclui-se que de um modo geral, o método GPR mostrou-se bastante eficiente na identificação de interferências, em um ambiente de duna, como pôde ser observado por meio dos resultados obtidos neste trabalho através de seções 2D e de um bloco 3D. Porém recomenda-se a realização de escavações para confirmar a localização dos dois dutos, sua suposta base e identificar o objeto relacionado com o terceiro refletor hiperbólico abaixo dos dois dutos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo fornecimento do GPR utilizado neste trabalho. Adicionalmente, agradecemos a Antônio Vicente, técnico de campo, pela valorosa colaboração na aquisição dos dados.

### Referências

ARAÚJO VD. 2006. Caracterização geológica tridimensional e monitoramento de dunas no litoral oriental do Rio Grande do Norte. Dissertação em geociências – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 111 p.

BRISTOW CS & JOL HM. 2003. Ground Penetrating Radar in Sediments. Geological Society of London. Special Publication No. 211. 330pp.

BRISTOW CS, PUGH J & GOODALL T. 1996. Internal structure of aeolian dunes in Abu Dhabi determined using ground-penetrating radar. *Sedimentology*, 43: 995-1003.

NEAL A & ROBERTS CL. 2000. Applications of ground penetrating radar (GPR) to sedimentological, geomorphological studies in coastal environments. In: PYE K & ALLEN JRL (Ed.). *Coastal and Estuarine Environments: sedimentology, geomorphology and geoarchaeology*. Geological Society London Special Publications, 175: 139-171.

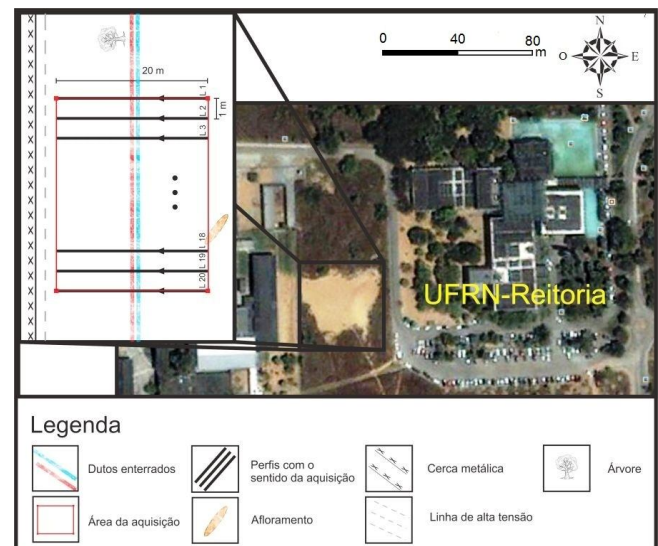
OLIVEIRA Jr JG. 2001. Dois testes de imageamento com GPR em problemas de controle ambiental em regiões tropicais: migração de dunas e localização de dutos de óleo enterrados. Dissertação de Mestrado em geofísica – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 95 p.

PINTO GP. 2010. O método GPR aplicado à localização de tubulações utilizadas no abastecimento de água na região urbana do município de Belém – Pará. Dissertação de Mestrado em geofísica – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 96 p.

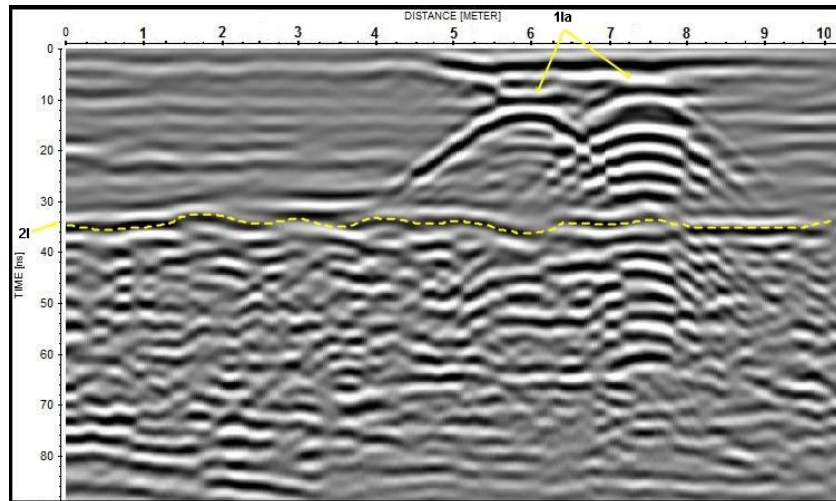
PORSANI JL, BORGES WR, RODRIGUES SI & HIDO FY. 2006. O sítio controlado de geofísica rasa do IAG/USP: instalação e resultados GPR 2D-3D. *Revista Brasileira de Geofísica*, vol. 24 (1): 49-61.

SANDMEIER KJ. 2011. REFLEXW Version 6.0, Windows 9x/2000/NT. Program for the processing of seismic, acoustic or eletromagnetic reflection, refraction and transmission data. Germany. 272 p.

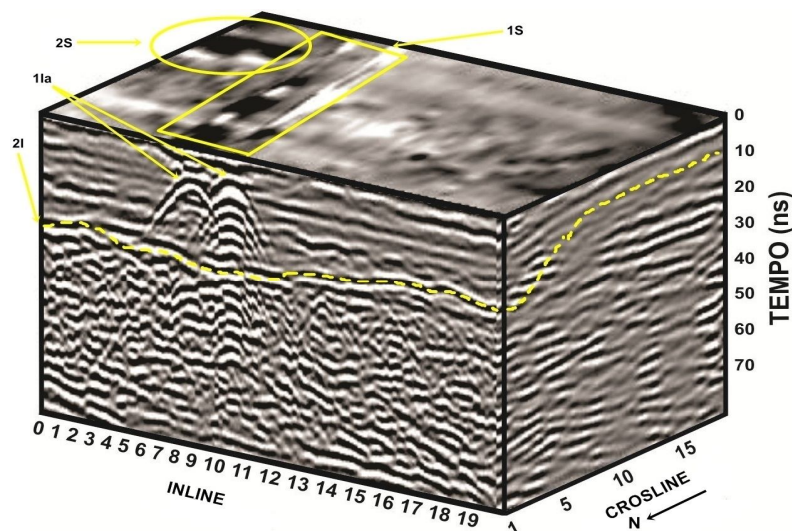
XAVIER NETO P. 2006. Processamento e Interpretação de Dados 2D e 3D de GPR: Aplicações no Imageamento de Feições Kársticas e Estruturas de dissolução no Campo de Petróleo de Fazenda Belém – CE. Tese de Doutorado em Geofísica – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. 192 p.



**Figura 1** – Área de trabalho com detalhe ilustrando a aquisição de dados.

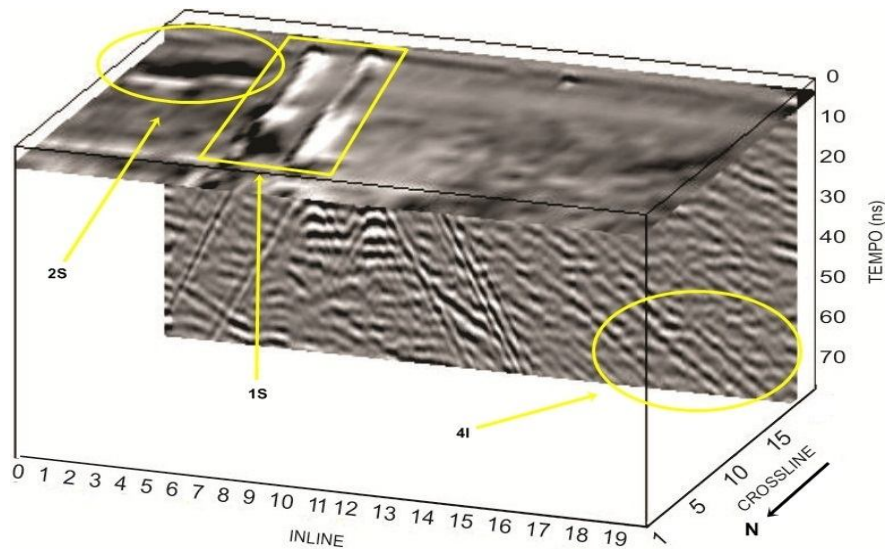


**Figura 2** – Radargrama obtido com antena blindada de 200 MHz referente a um segmento da linha L1. A marca 1Ia está associada aos dutos sob a duna. A marca 2I indica a interface duna-paleoduna.

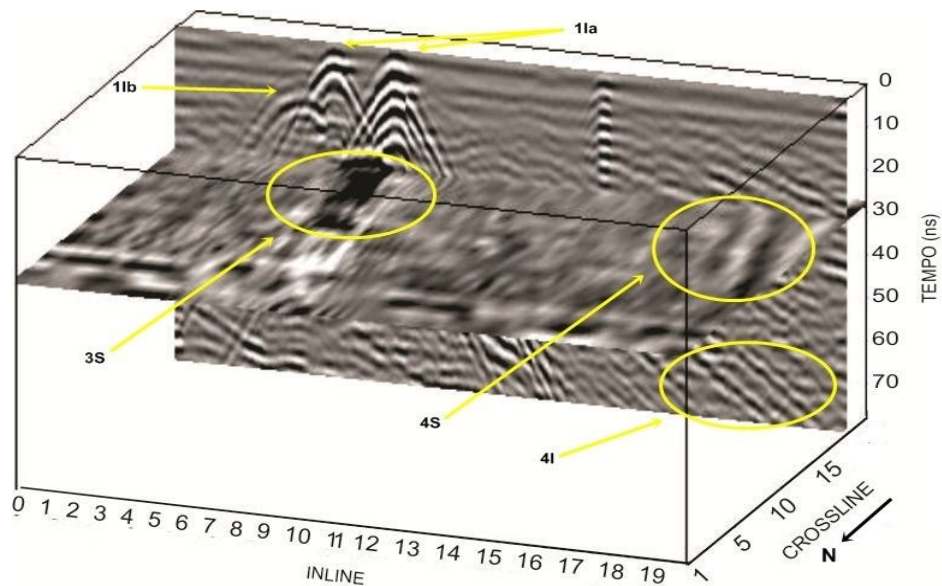


**Figura 3** – Bloco 3D para a antena blindada de 200 MHz sobre toda a área do levantamento. As marcas 1Ia e 1S estão associadas aos dutos sob a duna. A marca 2I indica a interface duna-paleoduna e a marca 2S indicam a superfície de uma paleoduna.

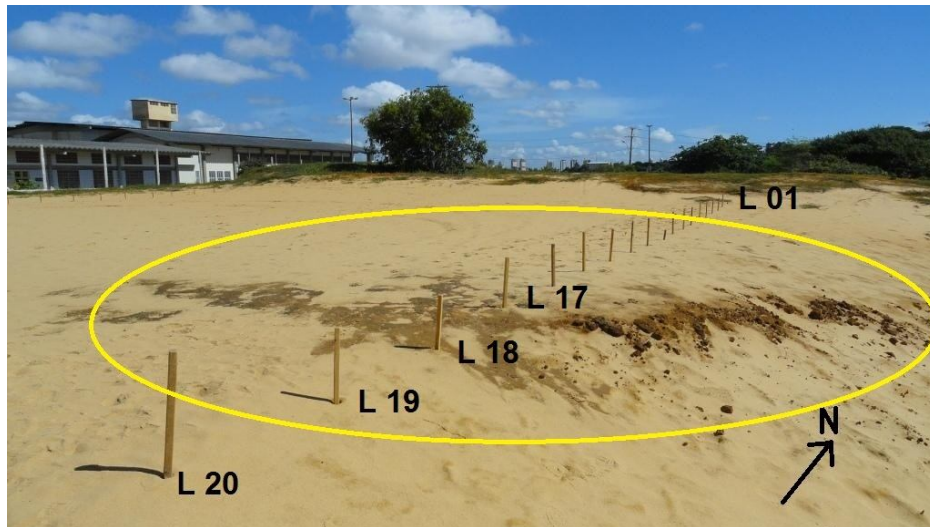




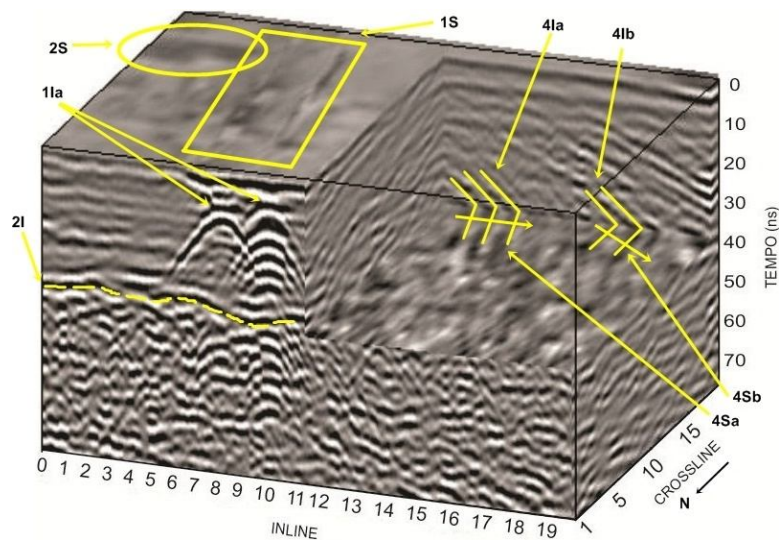
**Figura 4** – Diagrama de cerca com *timeslice* em 4ns para a antena blindada de 200 MHz. A marca 1S está associada aos dutos sob a duna. A marca 2S indica a superfície de uma paleoduna. A marca 4I mostra *foresets* tomados como indicadores da direção dos ventos dominantes na área.



**Figura 5** – Diagrama de cerca com *timeslice* em 30 ns para a antena blindada de 200 MHz. A marca 11a está associada aos dutos sob a duna. A marca 11b a um possível alvo isolado ou a um terceiro duto. A marca 3S indica uma anomalia retangular, provavelmente associada à base de sustentação dos dutos. As marcas 4I e 4S mostram *foresets* tomados como indicadores da direção dos ventos dominantes na área.



**Figura 6** – Fotografia da área de trabalho onde pode ser visto os piquetes que marcaram os limites do levantamento 3D, bem como a presença de sedimentos avermelhados (em destaque na figura) que foram associados ao afloramento de uma paleoduna.



**Figura 7** – Diagrama em cadeia para a antena blindada de 200 MHz. As marcas 1a e 1S estão associadas aos dutos sob a duna. A marca 2I indica a interface duna-paleoduna e a marca 2S indicam a superfície de uma paleoduna. As marcas 4Ia, 4Ib, 4Sa e 4Sb mostram *foresets* tomados como indicadores da direção dos ventos dominantes na área.