



Processamento de dados de GPR obtidos em ambientes cársticos

Érico Davi Nogueira da Silva (DGEF/UFRN), Antônio Lisboa Fernandes Júnior (DGEF/UFRN), Josibel Gomes de Oliveira Júnior (DGEF/UFRN) & Walter Eugênio de Medeiros (DGEF/UFRN).

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th 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 13th 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

The GPR (Ground Penetrating Radar) is characterized by being non-invasive geophysical tool, ideal for studying different environments, such as karst environments. In this case it has been utilized for the purpose of geotechnical investigation, and may extend to structural analysis and even to study the analogs of petroleum reservoirs. The aim of this work is to show the importance of the data process to improve the quality of data collected in the field, making possible a more precise identification of each feature present in the subsurface, and allowing a better Interpretation. Was used a data acquired nearby Lajedo de Soledade (Apodi-RN), and it was emphasized in the raw state and its subsequent Interpretation after five processing steps.

Introdução

Os dados apresentados neste trabalho foram obtidos em um sítio arqueológico localizado no distrito de Soledade, a 12 Km do centro de Apodi/RN (Figura 01). Segundo Santos Júnior et al. (2008) o lajedo Soledade ocupa uma área de um quilômetro quadrado de rocha calcária e constitui um importante sítio paleontológico/arqueológico da região semi-árida do nordeste brasileiro. Apresenta-se como um amplo pavimento cárstico formado por rochas carbonáticas que fazem parte da Formação Jandaíra, a qual compreende carbonatos pertencentes à seqüência transgressiva da Bacia Potiguar. O lajedo se encontra recortado por diversas falhas e fraturas com direção preferencial NE-SW e NW-SE, as quais permitiram o desenvolvimento de ravinas e pequenas cavernas a partir de intenso processo de carstificação. A presença do sistema de fraturas acima descrito permitiu a passagem de água rica em soluções ácidas que promoveu o alargamento das fendas devido a dissolução do carbonato e dando origem as ravinas (Figura 02). A largura e profundidade destas ravinas são variáveis e apresentam estágios diferenciados de desenvolvimento.

Nos últimos anos o radar de penetração no solo (GPR) consagrou-se como uma ferramenta não invasiva,

capaz de obter dados de modo rápido e barato se comparado aos métodos invasivos tradicionais. Particularmente, em ambientes cársticos, tem sido utilizado para identificar áreas inadequadas para a construção de edificações, sejam elas industriais ou residenciais. No entanto, a qualidade dos dados coletados nesses ambientes geológicos, nem sempre permite identificar claramente estruturas de dissolução que podem sofrer abatimentos e causar danos materiais, ambientais ou aos seres humanos. Nesse sentido, os resultados aqui apresentados mostrarão a importância do processamento de dados de GPR para a obtenção de imagens com qualidade suficiente para identificar corretamente estas estruturas, contribuindo para um melhor entendimento acerca dos mecanismos responsáveis por sua formação.

A seguir, serão apresentados os procedimentos metodológicos que foram adotados durante as etapas de aquisição e processamento dos dados.

Métodos

O método GPR consiste em uma técnica geofísica baseada na propagação de ondas eletromagnéticas e permite obter imagens de alta resolução em subsuperfície. O seu princípio de funcionamento consiste em emitir pulsos eletromagnéticos com frequência entre 10MHz e 2.6GHz e registrar seu tempo de viagem no interior da Terra após sofrer reflexões (Annan, 2001). Na aquisição dos dados o equipamento utilizado foi o SIR-3000, fabricado pela GSSI, juntamente com uma antena blindada de 200MHz. Esta antena foi acoplada a um odômetro, destinado a medir o espaço percorrido e controlar o disparo dos traços que, nesse caso, foi de um a cada 0,1m. A seção de GPR foi levantada na direção NE-SW e processada com *software Reflex for Windows* (Sandmeier, 2000). Este processamento teve por finalidade preservar e corrigir distorções da imagem. Para isso, procurou-se atenuar os ruídos provenientes da saturação do sinal e de possíveis interferências geradas por alvos que interagem com o pulso eletromagnético. A seguir, descrevem-se sucintamente cada etapa do fluxo de processamento e suas implicações sobre o dado.

Resultados e discussões

Permita-nos mostrar um segmento da seção bruta de GPR, entre as posições 70m e 132m (Figura 03). Por meio dele é possível observar, pelo menos, cinco problemas rotineiramente encontrados neste tipo de dado: Erro no posicionamento do primeiro refletor, a presença de um ruído de baixa frequência que obscurece os refletores superficiais (*Wow*), a forte atenuação

imposta ao pulso eletromagnético causada pela condutividade do meio, hipérbolas associadas a erros de imageamento em função do afastamento não nulo entre fonte/receptor e ruídos espúrios. Deste modo, foram aplicados procedimentos específicos para corrigir cada um dos cinco problemas citados.

O primeiro procedimento consistiu no ajuste do tempo zero. Essa correção tem por objetivo ajustar o tempo inicial ao primeiro refletor em subsuperfície, compensando o efeito do afastamento fonte-receptor do GPR que está relacionado à defasagem do tempo zero ao registro da primeira quebra dos traços GPR. Quanto maior esse afastamento maior a defasagem. A correção é realizada deslocando a primeira quebra dos traços de GPR para o tempo zero (Xavier Neto, 2005; Pinto, 2010).

Após o ajuste de tempo zero foi necessário remover o *wow*. Para isso, aplicou-se um filtro específico denominado *dewow*, que consiste na aplicação de um filtro passa-alta que procura eliminar as frequências baixas contidas no dado. Cabe ressaltar, que o efeito desse ruído aparece no radargrama como uma zona enevoadada e difusa, cuja intensidade depende das características elétricas do solo e da separação entre as antenas.

Ao se propagar no subsolo o pulso eletromagnético é linearmente atenuado devido ao afastamento entre a frente de onda e a antena de GPR. Por outro lado, a condutividade elétrica do meio impõe um decaimento exponencial ao sinal. Esse efeito se torna mais evidente em ambientes geológicos que sofreram forte intemperismo e são ricos em argila. Para compensar esses dois efeitos, utilizou-se uma função de ganho que melhora a visualização dos refletores em subsuperfície, aumentando a amplitude do sinal registrado (Sandmeier, 2011).

Segundo Botelho & Pestana (1997), uma seção de GPR com uma separação constante entre as antenas emissora-receptora, conhecida como seção de afastamento comum, apresenta uma imagem da subsuperfície distorcida. Desse modo, o quarto procedimento caracterizou-se pela aplicação da técnica de migração, que busca a recuperação das relações geométricas existentes nos eventos de reflexão devido à existência de mergulhos ou irregularidades nas interfaces com diferentes permissividades elétricas (Rocca et al., 1989; Fisher et al., 1989, 1992a,b; Almeida & Botelho, 1995). Existe um grande número de algoritmos de migração desenvolvidos para a sísmica que podem ser utilizados em dados de reflexão de radar. Yilmaz (1987) apresenta uma excelente discussão sobre os vários métodos de migração.

Finalmente, com o objetivo de remover ruídos que podem mascarar refletores associados a estruturas geológicas, foi aplicado um filtro passa-banda trapezoidal. Esse filtro possui quatro parâmetros distintos: dois que delimitam as frequências de corte inferior e outros dois que definem o limite superior da banda passante. A essa banda passante é atribuído o valor 1 e às rampas são aplicados operadores cosenoidais, cuja finalidade é evitar o fenômeno de *Gibbs*, relacionado ao corte abrupto nos limites de frequência dos filtros (Pinto, 2010).

O resultado do processamento do dado pode ser facilmente verificado ao comparar a Figura 04 com a Figura 03, entre as posições 90m e 120m. Por meio do

dado processado percebem-se padrões de reflexão que são de difícil visualização no dado bruto. Observe, por exemplo, as marcas em azul, amarelo, verde e vermelho na Figura 05. Estas marcas representam, respectivamente, os planos de acamamento da rocha calcária, o faturamento, as estruturas de dissolução e a cobertura sedimentar recente. Nota-se um padrão de faturamento em flor negativa, resultante da atuação de falhas transcorrentes observadas em campo. As zonas de dissolução estão associadas aos planos de falha e a cobertura sedimentar tende a preencher os vazios decorrentes de ambas.

Adicionalmente, refletores subparalelos com mergulho para NE também ficam visíveis no dado processado, o que confirma a importância do processamento em trabalhos envolvendo a aplicação do método GPR em ambientes cársticos.

Conclusões

Neste trabalho foram apresentados os resultados do processamento de uma seção de GPR coletada em um ambiente cárstico. Esta seção foi submetida a um fluxo de processamento composto por cinco etapas. Cada uma delas teve por finalidade preservar e corrigir distorções da imagem, atenuando ruídos e recompondo a amplitude do dado fortemente atenuada devido aos efeitos de propagação do pulso eletromagnético em subsuperfície.

Por meio do dado processado foi possível identificar padrões de reflexões que podem ser relacionados aos planos de acamamento da rocha calcária, faturamento, estruturas de dissolução e a cobertura sedimentar recente. Isto permitiu comprovar a importância do processamento de dados em levantamentos com GPR em áreas cársticas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo fornecimento do veículo de campo e pelo GPR utilizados neste trabalho. Adicionalmente, agradecemos a Agência Nacional do Petróleo (ANP) pela bolsa de estudos do primeiro autor deste trabalho. Finalmente, agradecemos a Antônio Vicente, técnico de campo, pela valorosa colaboração na aquisição dos dados.

Referências

ALMEIDA, R. S. & BOTELHO, M. A. B. - 1995 - Modelagem tridimensional de dados de radar (GPR) usando a técnica de diferenças finitas. Proceedings do 4º Cong. Inter. da SBGf, vol-I: 945-948, Rio de Janeiro, RJ.

ANNAN AP. 2001. Ground Penetration Radar Workshop notes. Sensors & Software. 197 p.

BOTELHO, M. A. B. & PESTANA, R. - 1997. Migração de radar (GPR) com correção topográfica simultânea. Rev. Bras. Geof. vol.15 no.1 São Paulo Mar. 1997.

FISHER, E., MCMECHAN, G. A. & ANNAN, A. P. - 1992A . Acquisition and processing of wide-aperture ground-penetrating radar data. Geophysics, **57**: 495-504.

FISHER, E., MCMECHAN, G. A., ANNAN, A. P. & COSWAY, S. W. - 1992b. Examples of reverse-time migration of single-channel, ground-penetrating radar profiles. Geophysics, **57**: 577-586.

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.

ROCCA, F., CAFFORIO, C. & PRATI, C. - 1989. Synthetic aperture radar: A new application for wave equation techniques. Geophys. Prospecting, **37**: 809-830.

SANDMEIER KJ. 2000. REFLEXW, Version 1.4, program for processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection and transmission data, version 1.4, Karlsruhe, Germany, 197 pp.

SANTOS JÚNIOR V, PORPINO, KO, SANTOS MFCF. 2008. Lajedo de Soledade, Apodi, RN Ocorrência peculiar de megafauna fóssil quaternária no nordeste do Brasil. Serie Tecnologia Mineral, v. 3, p. 01-12.

XAVIER NETO. 2005. 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, PPGG/UFRN.

YILMAZ, O. – 1987. Seismic Data Processing. SEG, Tulsa, Oklahoma, 536 p.

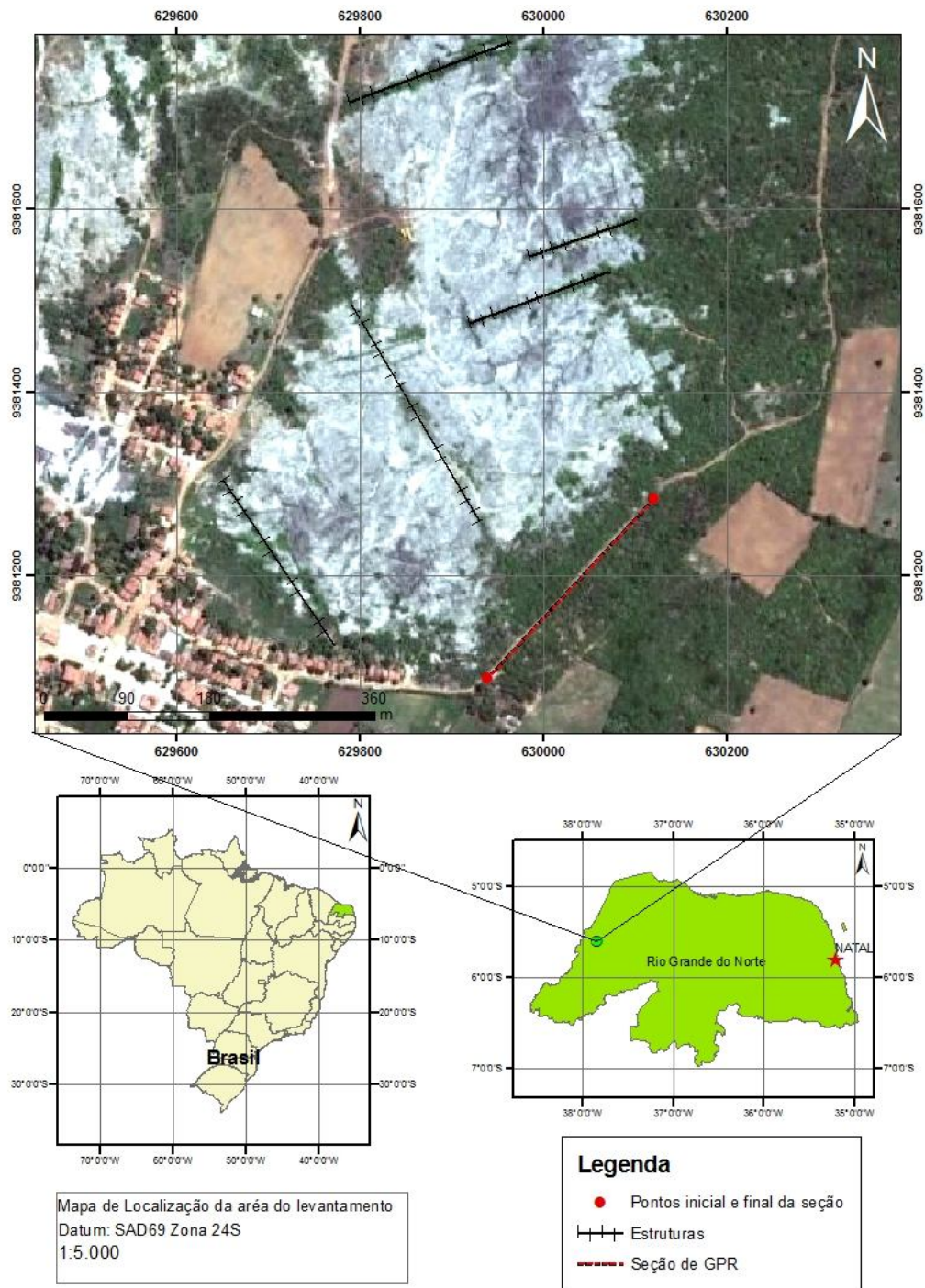


Figura 01- Mapa de localização do Lajedo Soledade e imagem de satélite mostrando em detalhe o local onde o dado de GPR foi adquirido.



Figura 02- Ravina no interior do lajedo Soledade.

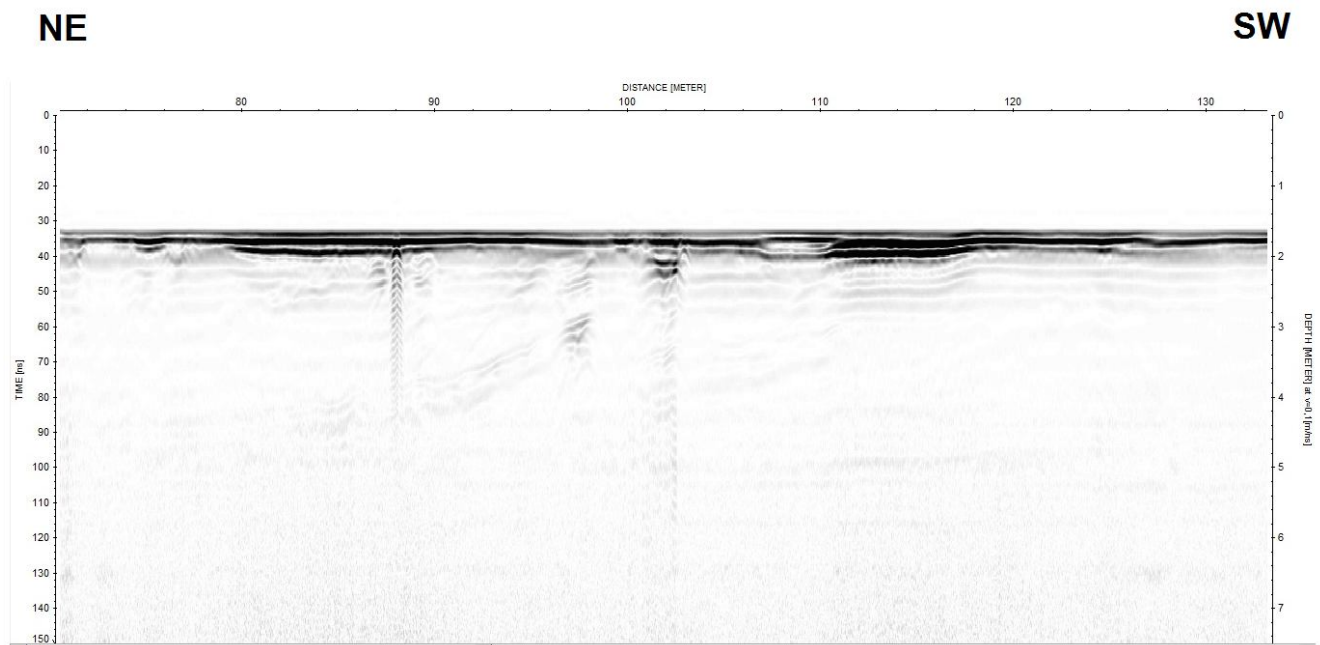


Figura 03- Segmento do dado bruto, entre as posições 70m 132m.

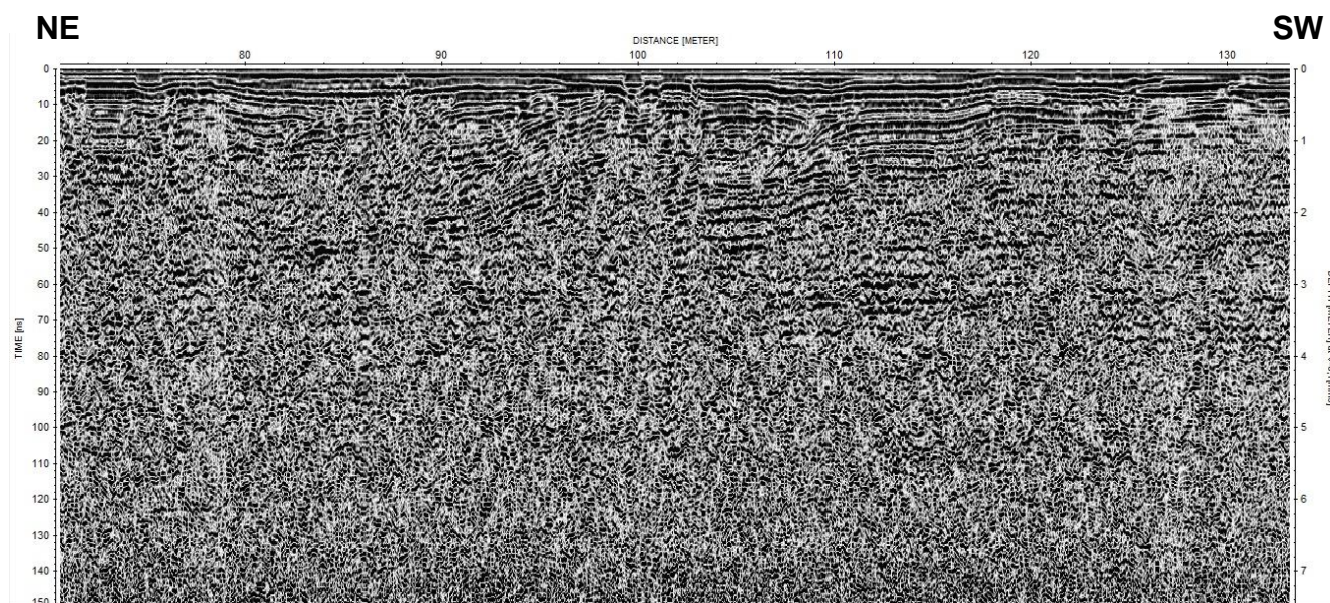


Figura 04- Segmento do dado processado, entre as posições 70m 132m.

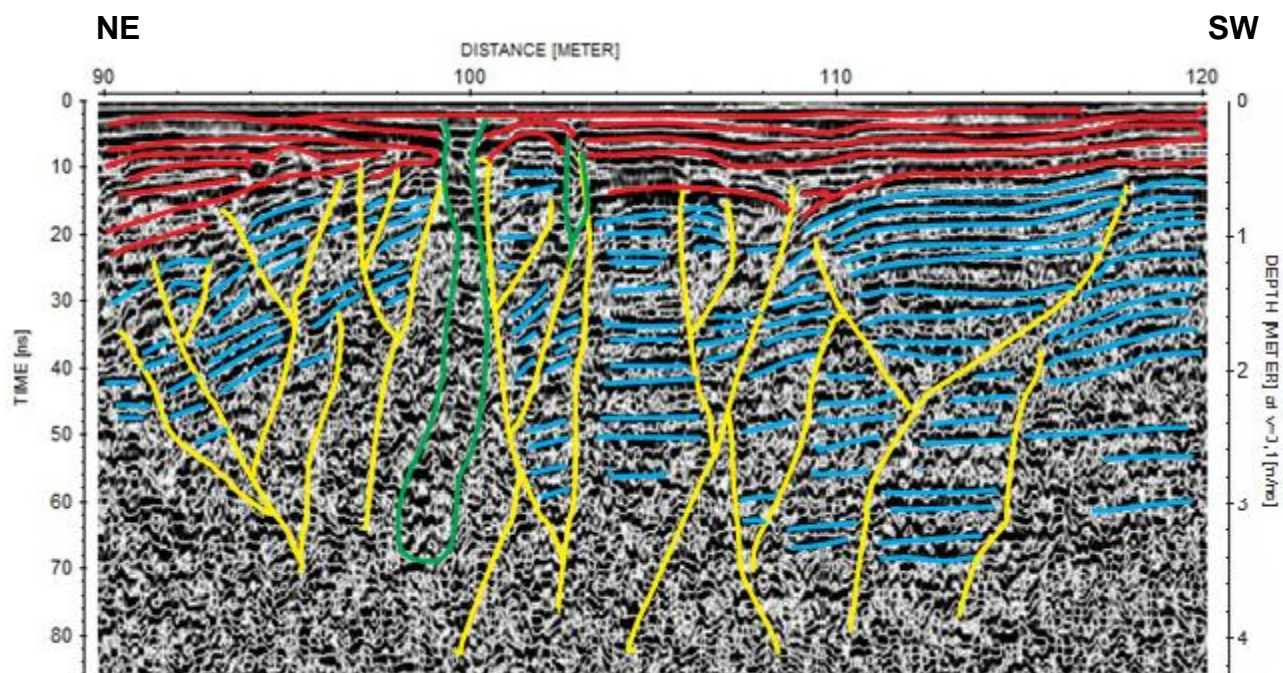


Figura 05- Segmento do dado apresentado na Figura 04. As cores em azul, amarelo, verde e vermelho representam, respectivamente, os planos de acamamento da rocha calcária, o faturamento, as estruturas de dissolução e a cobertura sedimentar.