LEVANTAMENTO GPR EM AFLORAMENTOS TURBIDÍTICOS DA BACIA DE ALMADA-BA

MARCO ANTÔNIO RODRIGUES DE CEIA¹, ANTÔNIO ABEL GONZÁLEZ CARRASQUILLA²
& JANDYR MENEZES TRAVASSOS³

Abstract *GPR SURVEY ON TURBIDITE OUTCROPS IN ALMADA BASIN, BRAZIL* In the onshore Almada Basin, northeast Brazil, sandy and/or conglomeratic turbidites and shales outcrops of Urucutuca Formation occur. These rocks are part of an exhumed portion of the filling-section of the Almada Canyon. Such outcrops are unique examples of passive margin transgressive marine sequence turbidites in Brazil, which were sedimented during the Maastrichtian/Campanian. They are analogues to some important turbidite reservoirs of Campos and Espírito Santo Basins. To aid studies of internal/external geometry and facies association which will help to improve the knowledge of the properties of such kind of rocks, a GPR (Ground Penetrating Radar) survey was performed in this region. A comparison with geological interpretations of the outcrop showed good agreement with GPR results. Furthermore, the use of 3D visualization techniques applied to GPR profiles allowed us to locate possible turbidite channels in parts of the outcrop where geological information were difficult to be assessed without drilling.

Keywords: Turbidites, GPR, Outcrop analogues, Almada Basin, Urucutuca Formation

Resumo Na porção continental da Bacia de Almada, no nordeste do Brasil, afloram turbiditos areno-conglomeráticos e folhelhos da Formação Urucutuca. Estas rochas são parte de uma porção exumada da seção de preenchimento do Cânion de Almada. Tais afloramentos são exemplos únicos de turbiditos de sequência marinha transgressiva de margem passiva no Brasil, que foram sedimentados durante o Maastrichtiano/Campaniano. Eles são análogos a alguns importantes reservatórios das Bacias de Campos e Espírito Santo. Para auxiliar estudos da geometria interna e externa e associação de fácies, os quais ajudarão a melhorar o conhecimento das propriedades físicas deste tipo de rochas, um levantamento GPR (Radar de Penetração no Solo) foi executado nesta região. Comparações com interpretações geológicas do afloramento mostraram uma boa concordância com os resultados GPR. Além disso, o uso de técnicas de visualização 3D aplicadas aos perfis GPR nos permitiu localizar possíveis canais turbidíticos em partes do afloramento onde as informações geológicas eram difíceis de ser obtidas sem a ajuda de poços.

Palavras-chave: Turbiditos, GPR, Afloramentos análogos, Bacia de Almada, Formação Urucutuca.

INTRODUÇÃO O método GPR tem sido bastante utilizado como ferramenta de imageamento de sub-superfície devido à sua alta resolução. Sua principal limitação é a pequena profundidade de investigação (no máximo algumas dezenas de metros), que em ambientes condutores é ainda mais crítico, devido a maior atenuação das ondas eletromagnéticas.

Estudos em afloramentos como o de Young *et al.* (1999) e o de Porsani & Rodrigues (1995) têm demonstrado a potenciabilidade deste método na descrição estratigráfica, sendo também importante na delimitação da geometria interna e no detalhamento de fácies. Tal característica nos motivou a empregá-lo no estudo dos afloramentos turbidíticos da Bacia de Almada, a qual foi objeto de estudo do projeto *Estudo Geológico-Geofísico de Afloramentos Análogos aos Reservatórios Turbidíticos da Bacia de Campos*, (Dias 2000, Dias *et al.* 2004).

GEOLOGIA DA ÁREA EM ESTUDO A Bacia de Almada situa-se na margem continental da Bahia entre os paralelos de 14° 15' S e 14° 55' S, sendo limitada ao norte pelo alto de Itacaré e ao sul pelo

alto de Olivença. Inclui uma pequena porção emersa, com extensão de 200 km² e espessura máxima de sedimentos de 1.800 m. Na plataforma continental sua área atinge maior expressão: cerca de 1.300 km² até a cota batimétrica de 200 m, com a coluna sedimentar registrando espessuras superiores a 6.000 m.

Os primeiros mapeamentos geológicos em detalhe da porção emersa da Bacia de Almada foram realizados em 1963 por uma equipe de geólogos da PETROBRAS e uma síntese publicada por Carvalho (1965).

Nesta porção emersa, afloram turbiditos areno-conglomeráticos e folhelhos ricos em foraminíferos planctônicos, que definem litoestratigraficamente a Formação Urucutuca (Mesozóico/Cretáceo Superior). Estas rochas compõem uma parte exumada do Canyon de Almada, constituindo-se numa grande feição erosiva de idade pós-cenomaniana, que é bem definida sismicamente na porção marítima da bacia. Um aspecto que torna estes sedimentos interessantes é que eles são produtores de petróleo, tendo certa analogia à outras formações encontradas nas Bacia de Campos, Espírito Santo e Cumuruxatiba (Carvalho 1965), onde importantes

1 - Universidade Estadual do Norte Fluminense – Lab. de Engenharia e Exploração de Petróleo – Rod. Amaral Peixoto, km 164 / Av. Brennand S/N - Macaé - RJ – CEP 27925-310. E-mail: marco@lenep.uenf.br

2 - Universidade Estadual do Norte Fluminense – Lab. de Engenharia e Exploração de Petróleo – Rod. Amaral Peixoto, km 164 / Av. Brennand S/N - Macaé - RJ – CEP 27925-310. E-mail: abel@lenep.uenf.br

3 - Observatório Nacional/MCT- Rua General José Cristino, 77, São Cristóvão Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20921-400. E-mail: jandyr@on.br

campos produtores de petróleo estão associados a paleocânions (Mendes 1998) como Carapeba e Pargo (Bacia de Campos), assim como Lagoa Parda e Fazenda Cedro (Bacia do Espírito Santo).

Estudos detalhados dos afloramentos foram realizados por Bruhn & Moraes (1989) e Mendes (1998). A figura 1 mostra a localização dos principais afloramentos dos turbiditos canalizados da Formação Urucutuca na porção emersa da Bacia de Almada, segundo Bruhn & Moraes (1989).

Figura 1 – Localização da área estudada. Principais afloramentos da Formação Urucutuca na Bacia de Almada, próximo à Ilhéus-BA. O afloramento estudado foi o de número 2, assinalado pelo quadrado cinza. Modificada de Bruhn & Moraes (1989).

MÉTODOS O método GPR O método eletromagnético GPR (*Ground Penetrating Radar*), também conhecido como Geo-Radar ou Radar de Penetração do Solo, começou a ser difundido a partir de 1970. Este método de imageamento da sub-superfície baseia-se principalmente na reflexão das ondas eletromagnéticas em estruturas geológicas e feições anômalas presentes em sub-superfície. Estas ondas são emitidas por uma antena transmissora e captadas por uma antena receptora (Fig. 2), ambas dispostas na superfície do terreno. Uma série de medidas realizadas ao longo de uma linha, quando plotadas lado a lado, fornecem uma imagem de alta resolução, tanto lateral quanto vertical, sobre uma seção ao longo do perfil.

O principal parâmetro extraído do método é o coeficiente de reflexão (R). Este coeficiente relaciona as propriedades físicas do

Figura 2 – Ilustração do princípio de funcionamento do método GPR. Gráficos da amplitude do sinal refletido nas interfaces em sub-superfície versus o tempo de trânsito do sinal entre a transmissão e a recepção, quando amostrados em diversos pontos ao longo de um perfil, produzem uma imagem das estruturas em sub-superfície. Modificado de Annan 1992.

meio como a condutividade elétrica e a permissividade dielétrica. Para uma situação particular de 2 camadas o coeficiente de reflexão é dado por :

$$R = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_1}{\epsilon_1}} - \sqrt{\frac{\sigma_2}{\epsilon_2}}}{\sqrt{\frac{\sigma_1}{\epsilon_1}} + \sqrt{\frac{\sigma_2}{\epsilon_2}}}$$

onde σ_1 e σ_2 são as condutividades elétricas nas camadas 1 e 2, ϵ_1 e ϵ_2 são as permissividades dielétricas das camadas 1 e 2 e ω é a frequência angular. Estratificações entre folhelhos e arenitos secos podem acarretar coeficientes de reflexão razoáveis, que podem proporcionar imagens de radar com nítidas delimitações entre as várias camadas. Altos níveis de saturação do arenito podem restringir a propagação do sinal de radar, diminuindo o coeficiente de reflexão quanto maior for a saturação do arenito. Baixos valores de permissividade dielétrica dos folhelhos associados á arenitos saturados também podem acarretar baixos valores de coeficiente de reflexão implicando em pouca nitidez na distinção entre as camadas estratificadas. Valores das propriedades elétricas de materiais geológicos típicos constam da Tabela 1. Outros detalhes sobre o método GPR podem ser encontrados em Davis & Annan (1989) e Oliveira Jr. (2001).

A forma de aquisição dos dados de GPR não difere muito do levantamento sísmico de reflexão convencional. Pode-se realizar levantamentos com afastamento (entre as antenas), constante ou variável, como em arranjos CMP (*Common Mid-Point*), os quais são importantes na estimativa da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no meio, como também na conversão tempo *versus* profundidade.

Tabela 1 - Valores típicos de constante dielétrica, condutividade elétrica, velocidade de propagação e atenuação das ondas eletromagnéticas observados em diversos materiais geológicos. Modificada de Annan (1992).

Material	Constante dielétrica	Condutividade (mS/m)	Velocidade (m/ns)	Atenuação (dB/m)
Ar	1	0	0.3	0
Água (Destilada)	80	0.01	0.033	0.002
Água (Fresca)	80	0.5	0.033	0.1
Água (Mar)	80	3000	0.01	1000
Areia (Fresca)	3-5	0.01	0.15	0.01
Areia (Saturada)	20-30	0.1-1	0.06	0.03-0.3
Calcário	4-8	0.5-2	0.12	0.4-1
Folhelhos	5-15	1-1000	0.09	1-100
Siltito	5-30	1-1000	0.07	1-100
Argila	5-40	2-1000	0.06	1-300
Granito	4-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Sal	5-6	0.01-1	0.13	0.01-1
Gelo	3-4	0.01	0.16	0.01

O processamento dos dados também é similar ao processamento sísmico convencional, resguardando-se a diferença de escala, visto que os dados GPR são adquiridos em nanossegundos, enquanto que os dados sísmicos são adquiridos em milissegundos. Filtros temporais para remoção de ruídos, migração para correções de posicionamento devido a difrações e várias outras técnicas comuns na sísmica de reflexão podem ser empregadas, como filtragem F-K, filtragem espaciais e deconvolução.

Aquisição de Dados O trabalho de aquisição de dados consistiu de 5 perfis GPR de afastamento constante de 1 m (Fig. 3). Dois perfis (1 e 2) foram orientados aproximadamente paralelos à face exposta do afloramento 2 (Fig. 4) de Bruhn & Moraes (1989), próximo à antiga estação ferroviária de Sambaituba, em Ilhéus (BA), enquanto que os outros perfis (3, 4, e 5) foram orientados de maneira aproximadamente perpendicular a esta mesma face. O perfil mais próximo da face exposta (Perfil 1) do afloramento situava-se a cerca de 3,5 m da borda.

O equipamento utilizado foi um Pulse Ekko IV, operando com antenas de 100 MHz, e janela de tempo de 380 ns. Foi utilizado um espaçamento de 0,25 m entre os traços de radar. Um perfil CMP também foi feito de modo a ser possível obter um modelo de velocidades.

As informações de topografia foram levantadas utilizando-se um GPS Diferencial e um clinômetro portátil.

As lacunas (*gaps*) mostram regiões onde não foram feitas medições em virtude de topografia acentuada, visando reduzir o efeito de borda, ou à presença de cercas metálicas.

Processamento de Dados O processamento dos dados GPR da Bacia de Almada consistiu basicamente de:

- edição de dados (eliminação de traços repetidos, correção de cabeçalhos (*headers*), inclusão de lacunas (*gaps*), re-posicionamento ou reversão de perfis, etc.);
- junção perfis contínuos (*merge*);
- *Dewow* (eliminação de ruídos de baixa frequência);
- ajuste do tempo zero;
- limitação das janelas de tempo;
- análise de velocidades;
- aplicação de ganhos;
- migração;

Figura 3 – Mapa dos perfis de radar (GPR) no afloramento estudado.

- aplicação de filtros;
- correção topográfica.

Para o processamento dos dados foram utilizados os programas *Ekko Tools* (Sensors & Software 1996), *Gradix* (Interpex 1996) e *SeismicUnix* (Cohen & Stockwell 1997).

A análise de velocidades forneceu um modelo de 2 camadas, a primeira com velocidade de 0,1 m/ns para tempos acima de 50 ns e a segunda com velocidade de 0,2 m/ns para tempos maiores que 50 ns. Este modelo foi utilizado na etapa de migração, cujo tipo utilizado foi a migração F-K, que tem como característica um algoritmo extremamente rápido e que permite a utilização de modelos com variação vertical de velocidades.

Após observações do espectro de amplitudes contra frequências, foram utilizados filtros trapezoidais passa-banda com frequências de corte de 30-70-180-500 MHz.

A correção topográfica foi realizada considerando-se uma velocidade constante de 0,1 m/ns e com base nas informações do GPS Diferencial e do clinômetro.

Visualização 3-D dos Perfis Para ajudar a interpretação dos dados, de modo a facilitar a correlação entre os refletores observados em cada um dos perfis, utilizou-se um esquema de visualização tridimensional dos perfis através de diagramas do tipo cerca (*fence*), mostrados mais adiante. Para esta finalidade utilizou-se o programa GOCAD.

Deve-se tomar alguns cuidados no processamento dos dados GPR, de modo a preparar os perfis para a visualização 3-D. A correção topográfica aplicada aos perfis deve respeitar o mesmo nível de base para todos eles. No caso do programa *Gradix*, é recomendável que esta correção topográfica seja aplicada a todos os perfis de uma só vez, pelo seu agrupamento, sendo desmembrados após a correção. Outra etapa importante na preparação dos dados para a visualização 3-D, consiste na inclusão das informações das coordenadas UTM de cada um dos traços nos arquivos de dados de cada um dos perfis, de modo que não haja problemas de referenciamento ou orientação espacial no programa de visualização. No nosso caso, optamos por usar o programa *Seismic Unix* (Cohen & Stockwell 1997) para tal procedimento e para exportar os arquivos de dados para o formato SEG-Y, requerido pelo programa GOCAD.

RESULTADOS Imageamento dos Turbiditos O uso do GPR no estudo dos afloramentos da Bacia de Almada pôde propiciar uma importante fonte de informação acerca da variabilidade espacial das unidades litológicas e das propriedades das rochas. A figura 5 mostra o resultado do Perfil 1 após processamento de dados. Este perfil é o mais próximo a face exposta do afloramento. O retângulo assinalado mostra uma seção do perfil aproximadamente coincidente com a foto mostrada na figura 4. A área mostrada na foto (fig. 4) foi estudada por D'Ávila & Souza-Cruz (2003) e Bruhn & Moraes (1989), cujas interpretações são mostradas nas figuras 6 e 7, respectivamente.

A parte do Perfil 1 assinalada na figura 4 foi separada do restante do perfil, teve seu ganho ampliado e alguns refletores foram assinalados. Posteriormente foi feita uma superposição da foto (Fig. 4) desta face exposta do afloramento, contra os refletores assinalados no Perfil 1 e depois comparada com as interpretações geológicas.

A comparação com as interpretações geológicas feitas por D'Ávila & Souza-Cruz (2003) é mostrada na figura 8. Pode-se observar que há uma boa concordância com algumas interfaces interpretadas por estes autores, conforme pode ser visto pelas linhas pretas tracejadas, linha amarela sólida e linha laranja tracejada, em ambas figuras. D'Ávila & Souza-Cruz (2003) observaram duas unidades distintas: heterolitos e conglomerados, onde heterolitos são definidos como delgadas camadas de arenitos intercaladas com lentes de folhelho. Estes autores também assinalam estratificações com padrão *onlap* na margem de um canal (também associado a uma falha sindeposicional), que é mostrado na figura 6 pela linha laranja tracejada. A interpretação desses autores é diferente da de Bruhn & Moraes (1989) (Fig. 7), os quais interpretaram 5 canais turbidíticos do tipo *channel levees*. Porém os resultados GPR do perfil 1 (Fig. 9) também mostram alguma semelhança com o que parece ser a base do canal 5 e o topo do canal 1 (linhas vermelhas). O perfil 1 completo (Fig. 4) também parece revelar outras estruturas não observadas nas interpretações geológicas, as quais estão mais profundas ou situadas em partes do afloramento onde o intemperismo dificulta a observação visual.

A utilização do programa GOCAD permitiu a observação tridimensional dos perfis estudados (Fig. 10), facilitando a interpretação e a correlação das estruturas observadas em perfis com diferentes orientações. O perfil 2 foi o que pareceu mostrar mais detalhadamente a estrutura de canais, conforme mostrado na figura 11. Nesta figura foi utilizada a técnica de opacidade, na qual apenas os sinais de maior amplitude (positiva) foram ressaltados. Três canais podem ser observados nos refletores assinalados em vermelho, amarelo e azul. No canal vermelho, por causa de uma lacuna nos dados do radargrama, pode-se observar apenas que, aparentemente, somente o topo e a base são bem delineados, enquanto que o preenchimento do canal é uma incógnita, diferentemente do canal azul, onde são observados alguns refletores internos, possivelmente associados à estratificação de arenitos e folhelhos, com padrão de terminação *onlap*. A margem deste canal coincide com a margem do canal observado por D'Ávila & Souza-Cruz (2003), no retângulo assinalado, o qual coincide com a área mostrada na figura 5. Pode-se observar nitidamente sua continuação em profundidade no final do perfil.

O canal amarelo, por sua vez, apresenta uma estrutura mais complexa. A base do canal não é bem definida, os refletores são truncados, porém novamente pode-se notar o padrão de terminação *onlap* nos refletores internos.

Na figura 11 também é mostrada a projeção de parte do poço

Figura 4 – Fotografia do afloramento 2, de Bruhn & Moraes (1989), objeto de estudo deste trabalho.

Figura 5 - Perfil 1 após o processamento (painel superior) e seção aproximadamente coincidente com a foto do afloramento estudado (retângulo assinalado).

SST-1, que foi perfurado durante as pesquisas do projeto Estudo Geológico e Geofísico de Afloramentos Análogos aos Reservatórios Turbidíticos da Bacia de Campos. No trecho do poço assinalado é possível fazer uma comparação com a descrição dos testemunhos extraídos do poço e apresentada por Menezes *et al.* (2003) e mostrada na figura 12. Nessa figura, pode-se perceber que os refletores de alta amplitude, que assinalam a margem do canal, estão relacionados ao contraste entre conglomerados e heterolitos. A zona transparente na parte superior do perfil indica pouco contraste das propriedades elétricas do meio, e de acordo com as descrições geológicas deve estar associada aos heterolitos, onde o arenito e as lentes de folhelho apresentam-se pouco distinguíveis para o sinal de radar.

A estrutura complexa observada no canal amarelo do perfil também é se manifesta no Perfil 1, conforme pode ser visto pelos refletores assinalados em verde (canal verde) na figura 13.

As feições em azul escuro exibidas na figura 11 são mostradas em detalhe na figura 14 que é parte do Perfil 2. Essas feições parecem estar associadas ao extravazamento do material de preenchimento

Figura 6 – Descrição geológica do afloramento 2 (Sambaituba) (D'Ávila & Souza-Cruz 2003). A área demarcada pelo retângulo tracejado é aproximadamente a mesma mostrada na figura 4. Heterolitos são delgadas camadas de arenitos intercaladas com lentes de folhelho. Cgl são conglomerados.

Figura 7 – Interpretação geológica de Bruhn & Moraes (1989). Cinco canais turbidíticos foram mapeados (1-5). A área assinalada pelo retângulo tracejado corresponde aproximadamente à área da foto da Figura 4.

do canal. Elas começam na base da face exposta do afloramento mostrada na figura 6 (aproximadamente coincidente com o retângulo preto da figura 14 e continuam em sub-superfície. Essas feições são caracterizadas por arenitos finos e pelitos. Há a presença de matações e seixos esparsos imersos nos pelitos. Essas feições também podem ser observadas no Perfil 1, na parte mostrada na figura 14. Abaixo dessas feições, de acordo com o as descrições dos testemunhos do poço SST-1, ocorre uma camada de material conglomerático com clastos de lama seguido de arenitos intercalados por pelitos e conglomerados.

A figura 15 é um resumo das principais feições encontradas neste afloramento e sua continuidade espacial baseadas nas informações apresentadas.

Figura 8 – Fotografia mostrada na figura 4 adicionada da interpretação do afloramento 2 (linhas pretas e laranja tracejadas e linha amarela sólida) com base na descrição geológica de D'Ávila & Souza-Cruz (2003) e nas informações de D'Ávila & Souza-Cruz (2003) (linhas azuis tracejadas) do Perfil 1. H – Heterolitos, Cgl - Conglomerados

CONCLUSÕES Os resultados conseguidos demonstraram a eficácia do método para imagear os afloramentos turbidíticos da Bacia de Almada. Algumas estruturas observadas nos trabalhos de Bruhn & Moraes (1989) e principalmente de D'Ávila & Souza-Cruz (2003), no afloramento 2, parecem se confirmar, porém a maior resolução deste método mostra novas estruturas em subsuperfície até então não mapeadas. Em especial, a margem do canal observado por D'Ávila & Souza-Cruz (2003) pode ser rastreada pela análise dos radargramas. A visualização 3D mostrou ser uma ferramenta eficaz na detecção da continuidade dos estratos nas três coordenadas, além de auxiliar no esclarecimento de dúvidas em relação à qualidade das informações interpretadas.

Figura 9 - Fotografia mostrada na figura 4 adicionada da interpretação do afloramento 2 com base na descrição geológica de Bhrun e Moraes (1989) e nas informações de radar (linhas azuis tracejadas). As linhas em vermelho indicam os refletores que mais se aproximam da base do canal 5 e do topo do canal 1.

Figura 10 - Esquema de visualização 3D dos perfis GPR, usando o programa GOCAD. Com este esquema foi possível observar perfis com diferentes orientações como mostrado no detalhe, facilitando o rastreamento dos refletores. Ver figura 3 para localização dos perfis.

Figura 11 - Visualização 3D do perfil GPR 2. Ver figura 3 para localização dos perfis. Nesta figura foram realçados apenas os refletores de amplitudes maiores que 10 mV. Os refletores assinalados em azul indicam o canal azul, os em amarelo, o canal amarelo e os em vermelho o canal vermelho. As marcações das unidades litológicas provêm da interpretação de D'Ávila & Souza-Cruz (2003) e Menezes et al. (2003).

Agradecimentos À ANP (PRH-20) pela bolsa de doutorado concedida a M. Ceia, ao CNPq pelas bolsas de pesquisa outorgadas a A. Carrasquilla e J. Travassos e à FINEP/CTPETRO/PETROBRAS/FAPERJ pelo suporte financeiro para a realização do projeto Estudo Geológico e Geofísico de Afloramentos Análogos aos Reservatórios Turbidíticos da Bacia de Campos, o qual possibilitou a realização deste trabalho. Ao Geólogo Roberto F.S. D'Ávila (PETROBRAS) pelas valiosas sugestões. Aos relatores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Legenda:

- Arenito
- Conglomerado
- Lamito
- Siltito
- Bioturbação
- Estrutura Plano-paralela ou Fissilidade
- Estratificação Cruzada
- ~ Ripple
- Flaser
- Linsen
- Wavy
- M Estrutura Maciça
- - - Diamictito
- ~ Slump (rocha deformada)
- Grânulos
- ◆ Clastos de Lama
- Concha
- Nódulo de Pirita
- Concreção Carbonática
- Septária
- Fundo Falso

Figura 12 - Descrição dos testemunhos de parte do poço SST-1. Modificado de Menezes et al. (2003).

Figura 13 – Parte do Perfil 1. Nesta figura foram realçados apenas os refletores de amplitudes maiores que 10 mV. Os refletores assinalados em tracejado mostram feições depositadas na parte superior da borda do canal, possivelmente associadas ao extravazamento do material de preenchimento do mesmo. O quadrado em preto sólido indica a área aproximadamente coincidente com a foto do afloramento da figura 4. As marcações das unidades litológicas provêm das interpretações de D'Ávila & Souza-Cruz (2003) e Menezes et al. (2003).

Figura 14 – Parte do Perfil 2. Nesta figura foram realçados apenas os refletores de amplitudes maiores que 10 mV. Os refletores assinalados com ponto-e-traço indicam o canal azul e os com linhas tracejadas mostram feições depositadas na parte superior da borda do canal, possivelmente associadas ao extravazamento do material de preenchimento do mesmo. O quadrado em preto sólido indica a área aproximadamente coincidente com a foto do afloramento da figura 4. As marcações das unidades litológicas provêm das interpretações de D'Ávila & Souza-Cruz (2003), Menezes et al. (2003) e observações de campo.

Referências

- Annan A.P. 1992. Ground Penetrating Radar Workshop Notes: Sensors & Software Inc., Canada
- Bruhn C. & Moraes M. 1989. Turbiditos da Formação Urucutuca na Bacia de Almada, Bahia: um Laboratório de Campo para Estudo de Reservatórios Canalizados. *B Geoci. PETROBRÁS*, 3(3):235-267
- Carvalho K.W.B. 1965. Geologia da Bacia Sedimentar do Rio Almada. *Boletim Técnico da PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 8(1):5-55
- Cohen J.K. & Stockwell J.W. 1997. *Seismic Unix User's Manual*. Center of Wave Phenomena. Colorado School of Mines. USA.
- D'Ávila R.F.S. & Souza-Cruz C. 2004. Estratigrafia Sedimentologia dos Afloramentos Turbidíticos da Bacia de Almada. In: C. A. Dias, A. Thomaz Filho, R.S.F. D'Ávila (Eds.) UENF/UERJ. Relatório Final apresentado à FINEP/CTPETRO – PETROBRAS e FAPERJ, projeto "Turbiditos de Almada". Seção II/2. (no prelo).
- Davis J.L. & Annan A.P. 1989. Ground Penetrating Radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37:531-551.
- Dias C.A. 2000. Projeto de pesquisa *Estudo Geológico-geofísico de afloramentos análogos aos teservatórios turbidíticos da Bacia de*

Figura 15 – Resumo das estruturas observadas no afloramento. As marcações das unidades litológicas provêm das interpretações de D'Ávila & Souza-Cruz (2003) e Menezes et al. (2003).

Campos - Turbiditos de Almada - Apresentado à FINEP/CTPETRO – PETROBRAS e FAPERJ.

Dias C.A., Thomaz Filho A., D'Ávila R.S.F. 2004. UENF/UERJ. Relatório final apresentado à FINEP/CTPETRO – PETROBRAS e FAPERJ, projeto *Turbiditos de Almada*. (no prelo).

Interpex. 1996. *Gradix User's Manual*. Interpex Limited. USA.

Mendes M.P. 1998. *Evolução, análise estratigráfica e sistemas turbidíticos em paleocânions submarinos: exemplos de Almada (BA) e Regência (ES)*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 229 pp.

Menezes C., Pimentel G., Cesero P., Souza-Cruz C. 2003. Testemunhagem de poços. In: A.A. Dias, A. Thomaz Filho, D'Ávila R.S.F. (eds.) UENF/UERJ. Relatório Final apresentado à FINEP/CTPETRO – PETROBRAS e FAPERJ, projeto "Turbiditos de Almada". Seção III/2. No prelo.

Porsani J.L. & Rodrigues A.R. 1995. O método GPR aplicado à

caracterização de reservatórios: um exemplo no afloramento Açú – Bacia Potiguar – RN. In: SBGF, Congr. Intern. Geofísica, 4, São Paulo, *Anais*, Vol. II, p. 843-845.

Oliveira Jr. J.G. 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. PPGG/UFRN. 86pp.

Sensors & Software. 1996. *pulseEKKO Tools User's Guide*. Sensors & Software Inc. Canada.

Young R.A., Peterson B., Slatt R.M. 1999. Imaging of turbidite outcrop analogs using ground penetrating radar. Congr. Society of Exploration Geophysicists, 30, *Proceedings*, p.429-432.

Manuscrito A-1448

Recebido em 09 de julho de 2003

Revisão dos autores em 10 de abril de 2004

Revisão aceita em 20 de maio de 2004