



Arcabouço Estratigráfico da Seção Drifte em Águas Profundas da Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará, e sua Relação com a Datação de Eventos Vulcânicos
Stratigraphic Framework of the Mundaú Sub-Basin's Drift Section on Deep Water, Ceará Basin, and its Relationship with Volcanic Events Dating

Isabella Lopes Antunes Rios¹ & Jorge de Jesus Picanço de Figueiredo²

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Departamento de Geologia Regional e Geotectônica,
Rua São Francisco Xavier, 524, bloco A, sala 4001. Maracanã, 20550-900, Rio de Janeiro, Brasil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. Av. Athos da Silveira Ramos, 274, bloco J. Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21941-916, Rio de Janeiro, Brasil
E-mails: isabellarrios01@gmail.com; jfigueiredo@geologia.ufrj.br

Recebido em: 29/10/2017 Aprovado em: 26/06/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_152_166

Resumo

A análise de poços perfurados em águas profundas na sub-bacia de Mundaú, bacia do Ceará, Margem Equatorial Brasileira, mais a interpretação de vinte e seis linhas sísmicas 2D, além da análise de dados de gravimetria, permitiram a identificação de cinco sequências deposicionais na seção drifte entre o Albiano inferior e o Eoceno médio. Também foram identificados dois edifícios vulcânicos soterrados e sem expressão na topografia do fundo marinho no tempo presente. A correlação estratigráfica baseada em critérios sismoestratigráficos permitiu a datação relativa da formação dos edifícios vulcânicos sendo estes mais novos que o Paleoceno. Rochas vulcânicas já foram datadas na porção plataformar da sub-bacia de Mundaú, revelando idades entre 44 a 32 Ma, corroborando a idade dos edifícios vulcânicos interpretados a partir dos dados sísmicos como após o Paleoceno, provavelmente meados a final do Eoceno.

Palavras-chave: Bacia do Ceará; Sub-bacia de Mundaú; Arcabouço estratigráfico; Vulcanismo Macau

Abstract

Well-log analysis of five wells drilled in deep water of Mundaú Sub-basin, Ceará Basin, Brazilian Equatorial Margin, plus the interpretation of twenty six 2D seismic lines besides gravimetric data analysis allowed the identification of five depositional sequences in the basin's drift section between the lower Albian and middle Eocene. Two inactive and buried volcanos, with no present expression on sea bottom, were identified, as well. Seismic stratigraphic correlation allowed a relative dating the volcanic activity as post-Paleocene. Volcanic rocks from the Mundaú Sub-basin's shallow water previously dated between 44 a 32 Ma corroborate the ages suggested from the seismic data as post-Paleocene, possibly Mid to late Eocene.

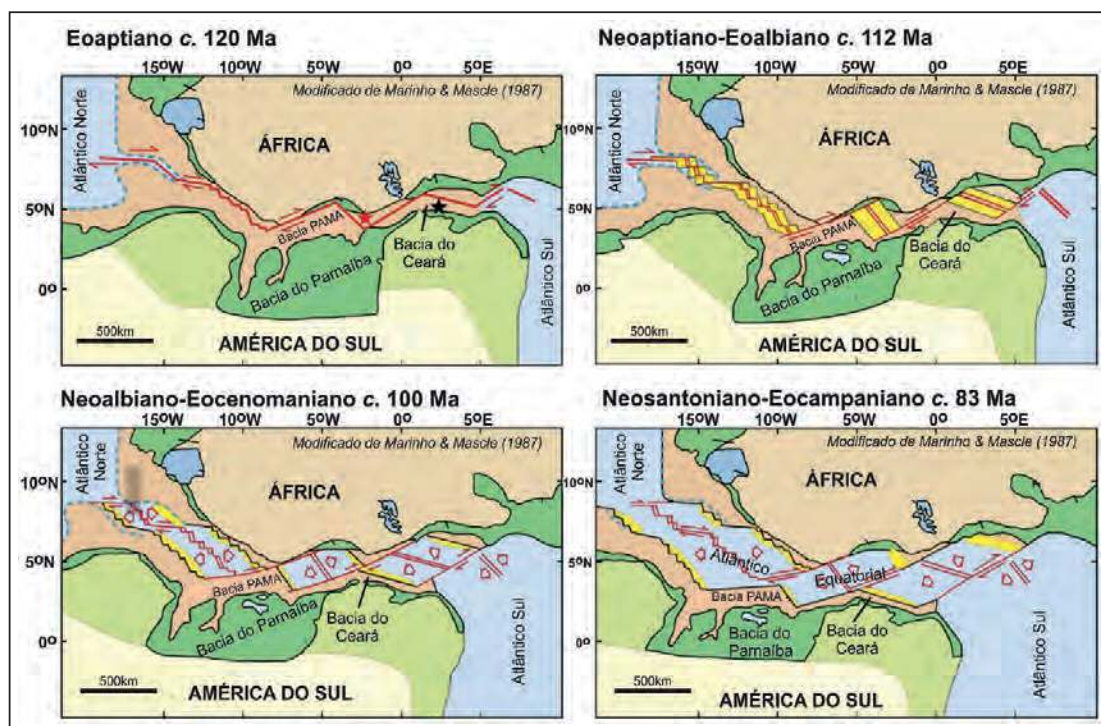
Keywords: Ceará basin; Mundaú subbasin; Stratigraphic framework; Macau Volcanism

1 Introdução

A Margem Equatorial Brasileira é interpretada como uma margem continental transformante; ou seja, os processos tectônicos atuantes durante a fragmentação continental foram dominados por esforços do tipo “strike-slip” (Mattos, 2000). A geometria atual da linha de costa da Margem Equatorial Brasileira mostra intervalos de direção NW-SE intercalados por intervalos de direção E-W. Marinho & Mascle (1987) originalmente propuseram que esta geometria reflete a dinâmica dos processos de rifteamento e fragmentação continental atuantes nesta área do Gondwana durante o Cretáceo Inicial que culminou com a separação definitiva entre os presentes continentes da América do Sul e da África (Figura 1). Os intervalos de direção E-W coincidem com o prolongamento das atuais zonas de fraturas oceânicas do Atlântico Equatorial. Durante os processos de rifteamento e fragmentação estes intervalos foram dominados por esforços transcorrentes com alguns segmentos dominados por transpressão e outros por transtensão; porém, nos intervalos de direção NW-SE os principais esforços atuantes foram distensivos (Mattos, 2000).

Os três tipos de esforços tectônicos (translação, transpressão e distensão) interagiram e afetaram de forma complexa a bacia sedimentar do Ceará, localizada na Margem Equatorial Brasileira. Este é o motivo pelo qual a bacia do Ceará é dividida em quatro sub-bacias: Piauí-Camocim, Acaraú, Icarai e Mundaú (Condé *et al.*, 2007). A sub-bacia de Mundaú, onde está a área de estudo deste trabalho, localiza-se no extremo leste da bacia do Ceará e ocupa parte de um segmento NW-SE da Margem Equatorial Brasileira. Esta sub-bacia foi dominada por esforços distensivos durante o processo de rifteamento e fragmentação, porém, sob influência de um forte componente direcional (Mattos, 2000). As três outras sub-bacias localizam-se no segmento E-W, ao norte da sub-bacia de Mundaú, e tiveram suas gêneses sob a égide de movimentações transpressivas e transtrativas (Figura 2). Este segmento da Margem Equatorial Brasileira nucleou, durante o processo de fragmentação, o que hoje é a zona de fratura oceânica Romanche. Após a fragmentação e a consequente evolução do processo de espalhamento da crosta oceânica, a zona de fratura Romanche passou a afetar a seção sedimentar da fase Drifte das sub-bacias da bacia do Ceará remobilizando-a tectonicamente através de esforços transcorrentes.

Figura 1 Modelo proposto para a fragmentação da Margem Equatorial Brasileira por Marinho & Mascle (1987), mostrando o padrão escalonado entre intervalos com predominância de esforços distensionais (segmentos NW-SE) separados por intervalos com predominância de esforços transcorrentes (segmentos E-W).



Arcabouço Estratigráfico da Seção Drifte em Águas Profundas da
Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará, e sua Relação com a Datação de Eventos Vulcânicos
Isabella Lopes Antunes Rios & Jorge de Jesus Picanço de Figueiredo

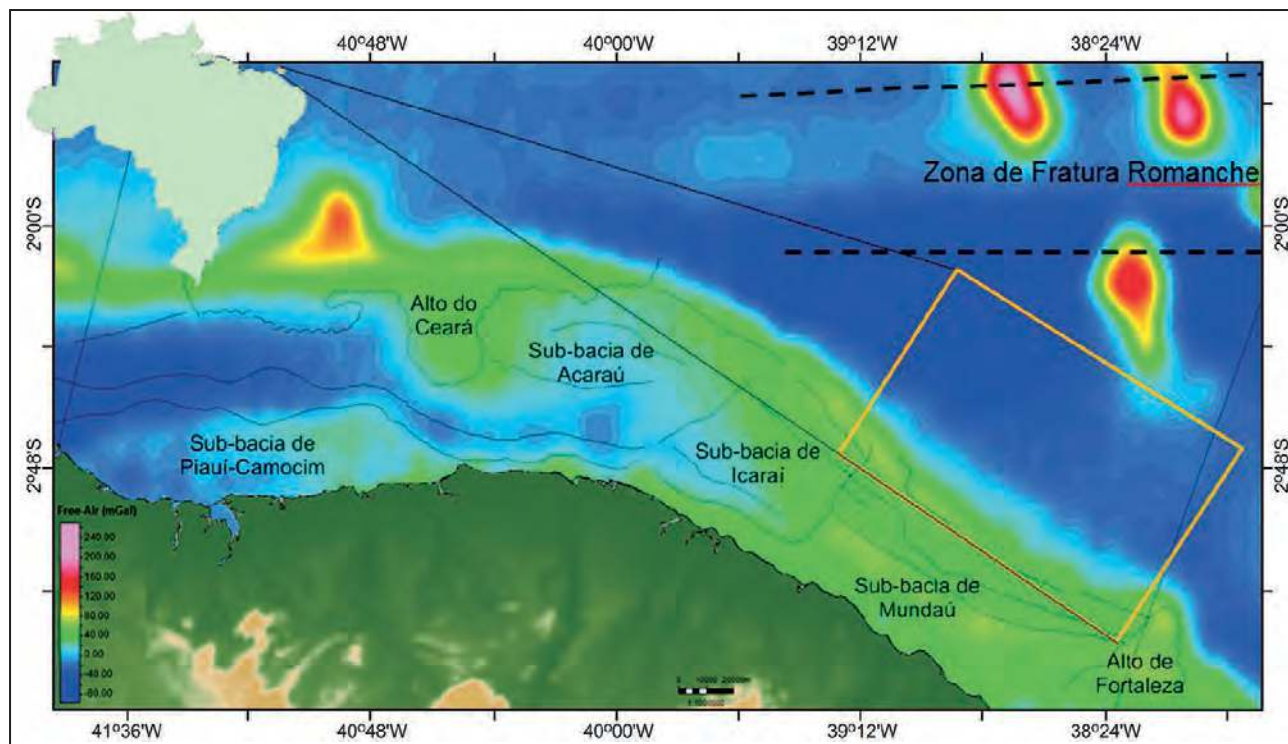


Figura 2 Imagem magnetométrica sobreposta por mapa estrutural das grandes feições do embasamento da bacia do Ceará na porção plataforma. Os limites da bacia do Ceará estão marcados pelas duas linhas pretas SW-NE localizadas nos extremos esquerdo e direito da figura. As sub-bacias que compõem a bacia do Ceará estão identificadas na figura. A área de estudo deste trabalho está representada pelo polígono de marrom na porção de águas profundas da sub-bacia de Mundaú. Fonte: mapa gravimétrico *Free-Air* disponibilizado no site http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi.

Outra característica marcante das bacias da Margem Equatorial Brasileira, dentre elas a bacia do Ceará e suas sub-bacias é o intenso vulcanismo ocorrido durante a fase Drifte. Dezenas de montes submarinos são facilmente identificados na topografia do fundo oceânico desde a bacia do Pará-Maranhão, ao oeste, até a bacia Potiguar, ao leste (Figura 3). No extremo leste destas ocorrências está a ilha vulcânica de Fernando de Noronha, onde recentes análises geocronológicas revelaram dois pulsos de vulcanismo, o mais velho entre 12,5 e 9,0 Ma e o mais novo entre 6,2 e 1,3 Ma (Perlingeiro *et al.*, 2013).

Misuzaki *et al.* (2002) fizeram uma síntese das datações geocronológicas até então realizadas em rochas vulcânicas do Mesozoico e Cenozoico em todo o Brasil. A maior quantidade de dados vem de rochas aflorantes na porção emersa da bacia Potiguar; mas, também há alguns dados obtidos em análises realizadas em duas das bacias citadas acima. Há poucos dados na bacia do Ceará e todos eles provêm de amostras de rochas vulcânicas recupera-

das em poços da indústria de petróleo perfurados na plataforma continental (águas rasas) das mesmas. As idades obtidas variam de 83 a 32 Ma, ou seja, do Campaniano ao Oligoceno. Este evento magmático na Margem Equatorial Brasileira é chamado na literatura de “Magmatismo Macaú” e, apesar de ser bem documentado nas porções emersas e de águas rasas das bacias Potiguar e Ceará, não há nenhuma datação, nem tampouco amostragem de rochas vulcânicas nos *sea mounts* comumente interpretados como edificações vulcânicas. Dada a total ausência de dados diretos sobre os *sea mounts*, propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de uma metodologia baseada em análise de dados sísmicos e métodos potenciais (gravimetria) para se interpretar a origem desses e inferir-lhes uma idade relativa.

A área de estudo deste trabalho está localizada na sub-bacia de Mundaú definida por um polígono de aproximadamente 10.000 km² ocupando as porções de talude e bacia profunda da sub-bacia de Mundaú (Figuras 2 e 3).

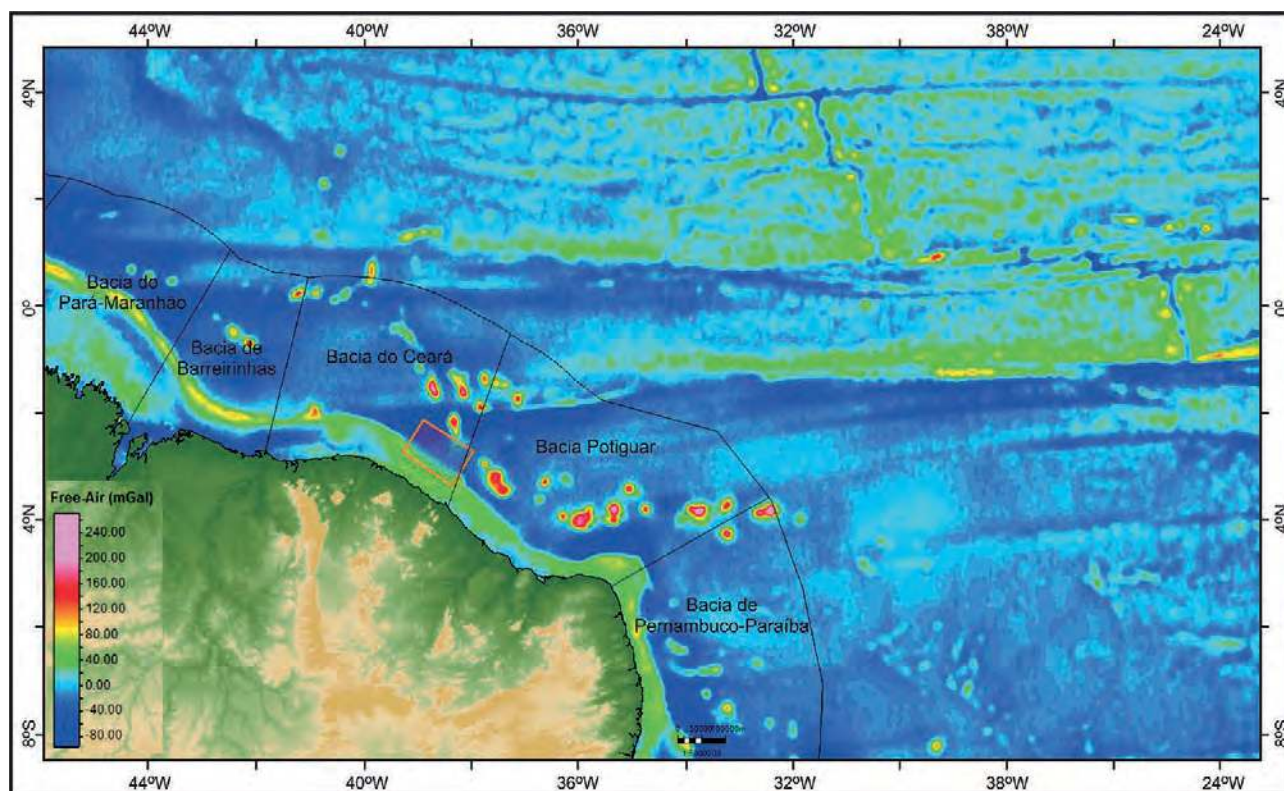


Figura 3 Imagem magnetométrica sobreposta pelo mapa de localização de quatro das cinco bacias da Margem Equatorial Brasileira. Notar a presença de anomalias na cor vermelha e amarela, alinhadas na direção E-W, sobre o fundo azul desde a bacia do Pará-Maranhão. Estas anomalias são montes submarinos (*sea mounts*) interpretados como de origem vulcânica. Fonte: mapa gravimétrico *Free-Air* disponibilizado no site http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi.

2 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) cedeu dados de cinco poços perfurados pela Petrobras em águas profundas da bacia do Ceará, sub-bacia de Mundaú e 26 linhas sísmicas 2D (Figura 4). Além disso, também foram usados neste trabalho dados de métodos potenciais (gravimetria) provenientes do modelo WG2012 desenvolvido pelo *Bureau Gravimétrique International* (BGI), disponível para livre compartilhamento no website <http://bgi.omp.obs-mip.fr/> (Balmino *et al.*, 2011).

Os dados dos poços compreendem: (1) perfis compostos em arquivo PDF; (2) descrição litológica das colunas perfuradas pelos poços; (3) tabelas de tempo sísmico *versus* profundidade de perfis de *Checkshot* e *Vertical Seismic Profile* (VSP); (4) ar-

quivos digitais em formato LAS e DLIS de curvas de raios-gamma; Sônico; Resistividade; Densidade e Neutrão.

As 26 linhas sísmicas 2D usadas neste trabalho foram migradas em tempo (*PSTM - Post-Stack Time Migration*), apresentam uma extensão linear total de 1.628 km e são provenientes de dois levantamentos distintos (R0003_GRAND_NORTH e 0222_CEARA_6B). Dessas linhas sísmicas, sete são seções *strike* de direção SE-NW e 19 são seções *dip* de direção SW-NE (Figura 4).

Antes da interpretação propriamente dita, os dados de sísmica e poço foram submetidos à seguinte rotina de trabalho no programa Petrel, da empresa Schlumberger, o qual é licenciado para uso acadêmico pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ):

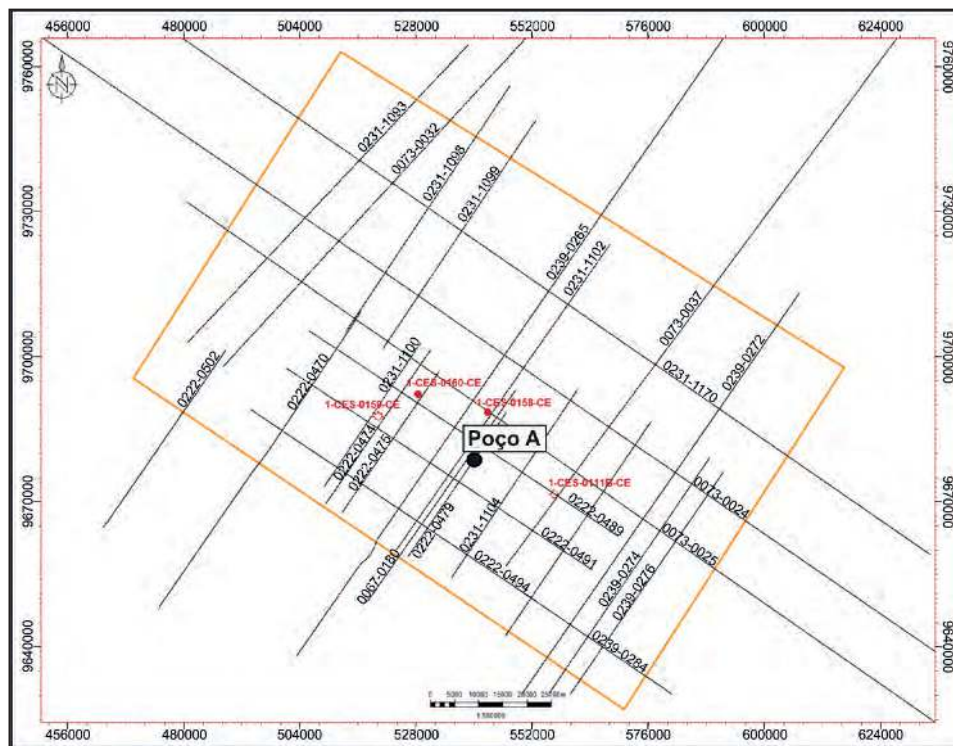


Figura 4 Mapa de localização dos dados usados neste trabalho: 19 linhas sísmicas *strike* (NW-SE); 7 linhas sísmicas *dip* (SW-NE); e 5 poços (pontos vermelhos). Polígono marrom representa a área de estudo. Para a sua localização dentro da sub-bacia de Mundaú ver Figuras 2 e 3.

2.1 Controle de qualidade do dado sísmico:

2.1.1 Análise de *Mis-tie*:

Uma vez que as linhas sísmicas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram obtidas em duas aquisições sísmicas distintas, os parâmetros de aquisição e processamento aplicados aos dados também foram diferentes. Como consequência, é comum ocorrer um desalinhamento em tempo sísmico entre os mesmos refletores imageados em linhas de diferentes gerações. Esta diferença é observada, via de regra, quando se faz o cruzamento de linhas *dip* e *strike* das diferentes aquisições. Para o correto mapeamento dos horizontes, é necessário que estes estejam no mesmo tempo sísmico; portanto, é necessário que se faça a correção de *mis-tie* entre as linhas dos diferentes levantamentos para o alinhamento dos refletores sísmicos a serem mapeados.

Dois métodos de análise de *mis-tie* foram testados:

- Correção variável vertical: permite que a sísmica seja ajustada com valores diferentes para cada traço, baseada na correção computada em cada ponto de cruzamento.

- Correção constante: aplica o mesmo valor proveniente da média ponderada de todos os pontos de interseção envolvidos a todas as linhas sísmicas.

O método que apresentou melhores resultados foi a “correção variável vertical”. Assim sendo, este método foi aplicado ao dado sísmico no intervalo de 0 a 9000ms, o qual compreende toda a seção sedimentar analisada neste trabalho.

2.2 Condicionamento dos Dados Sísmicos

Foram aplicados aos dados sísmicos diferentes filtros com a finalidade de melhorar sua qualidade e, conseqüentemente, proporcionar maior confiança no mapeamento dos horizontes.

O primeiro deles foi o *Structural Smooth*, de caráter estrutural, utilizado para remover ruídos causados pelo processamento e melhorar a continuidade dos refletores sísmicos; as falhas se mantêm preservadas.

Após a remoção dos ruídos, foi aplicado um filtro de caráter estratigráfico (*Reflection Intensity*)

para melhor delineamento das características de amplitude. Porém, como as frequências originais são mantidas, é possível a identificação das descontinuidades.

A Técnica Volume de Amplitudes (TecVA) foi também aplicada nas linhas sísmicas com o intuito de ressaltar a variação lateral de sismofácies tanto na horizontal como na vertical e as descontinuidades contidas no dado original. O fluxo de trabalho para se obter o TecVA no programa Petrel inicia com a geração da média RMS (*Root Mean Square*) que calcula a raiz quadrada da média das amostras selecionadas em uma janela sísmica, seguida da remoção da tendência do dado sísmico gerado pela deconvolução e finaliza com a transformada inversa de Hilbert (rotação de fase de -90°).

2.3 Correlação Poço à Sísmica

O objetivo da amarração da informação do poço com a imagem sísmica é estabelecer relação entre as interfaces geológicas e as reflexões sísmicas que se desejam interpretar. Para que essa etapa seja executada, é necessário que os poços apresentem dados que possibilitassem a relação tempo sísmico e profundidade. Tais dados são obtidos com a execução do *checkshot* (*WST – Well Seismic Time*) e/ou arquivo *VSP* (*Vertical Seismic Profile*). Com estes dados é montada uma tabela tempo x profundidade, a qual é o *input* básico para o programa que gera a conversão da profundidade do poço em tempo sísmico para que o mesmo possa ser correlacionado com a sísmica.

Outras informações necessárias para a correlação do poço à sísmica são obtidas dos perfis sônico e densidade. Destes dois perfis são estimadas as impedâncias acústicas e os coeficientes de reflexão utilizados na construção do sismograma sintético gerado para o poço, o qual será comparado com o sismograma do dado sísmico no ponto onde a localização do poço é projetada na linha sísmica.

A amarração poço à sísmica foi realizada nos cinco poços disponibilizados pela ANP. Inicialmente foi gerada a curva *drift* para a calibração do perfil sônico. A curva *drift* representa a diferença entre a

curva em tempo (*checkshot* ou *VSP*) e o perfil sônico. Essa nova curva gerada foi utilizada na amarração do poço à sísmica e na construção do sismograma sintético. A partir da linha sísmica mais próxima ao poço e das curvas de sônico e densidade, foi gerada a *wavelet* utilizada na convolução com o coeficiente de refletividade. A extração da *wavelet* ao redor do poço permite maior correlação com o dado sísmico. O algoritmo utilizado para a extração da *wavelet* foi o *Extended Roy White*, com o qual houve a determinação da fase dominante e o deslocamento em tempo ideal entre a refletividade das curvas dos poços e a amplitude sísmica.

2.4 Mapeamento de Horizontes Sísmicos e Geração de Mapas de Contorno Estrutural em Tempo Sísmico

O mapeamento dos horizontes sísmicos nas linhas 2D foi executado após a correlação do poço à sísmica em superfícies interpretadas com base em critérios litoestratigráficos e/ou cronoestratigráficos. Após o mapeamento dos horizontes nas linhas *dip* e *strike* obtém-se uma malha de dados de tempo sísmico duplo (*TWT – two way time*) os quais foram interpolados para gerar mapas de contorno estrutural em TWT. A interpolação foi feita através do método de mínima curvatura e células de 1000x1000 metros. Os mapas tiveram como objetivo gerar a topografia da superfície relacionada a cada horizonte mapeado identificando altos e baixos topográficos.

2.5 Conversão de Tempo Sísmico para Profundidade

Como os mapas de contorno estrutural foram gerados em TWT é necessário fazer a correção de tempo para profundidade. A conversão tempo x profundidade tem como ponto de partida a fórmula clássica:

[1] $D = \Delta t * v_m$, onde D é a distância percorrida, Δt é o tempo gasto no percurso v_m que é a velocidade média desenvolvida.

A primeira superfície a ser convertida é aquela que representa o fundo do mar. Para esse procedimento, a equação 1 é ajustada para:

[2] $P_{fm} = (t_{fm} * v_a / 2) * 1000$, Onde P_{fm} é a posição do fundo do mar em profundidade, t_{fm} é a posição da superfície do fundo do mar gridada em tempo e v_a é a velocidade média da onda sísmica na lâmina d'água (1500 m/s). Como o tempo sísmico é duplo (tempo que a onda sísmica viaja da fonte até a interface em subsuperfície e desta é refletida para o geofone/hidrofone) é necessário dividir o produto $t_{fm} * v_a$ por 2. O resultado da equação $v = (t_{fm} * v_a) / 2$ é apresentado em 'milissegundo' para transformá-lo em 'segundos' (Sistema Internacional) é necessário que o mesmo seja multiplicado por 1000.

Para as superfícies subsequentes ao fundo do mar é necessário subtrair a posição da superfície do fundo do mar, em tempo, da posição daquela que será convertida, também em tempo, e acrescentar a posição da superfície do fundo do mar em profundidade. Esse artifício é necessário para tirar o efeito da superfície do fundo do mar sobre aquela que está sendo convertida. Assim, tem-se

[3] $P_n = \Delta t * v_n / 2000 + P_{fm}$, onde P_n é a posição da n -ésima superfície em profundidade, Δt é a posição dessa superfície em tempo menos a posição da superfície do fundo do mar também em tempo, v_n é a velocidade média da onda sísmica no intervalo que antecede a superfície n , e P_{fm} é a posição da superfície do fundo do mar em profundidade.

2.6 Análise de Métodos Potenciais (Gravimetria)

Foram gerados dois mapas gravimétricos para a área de estudo:

2.6.1 Mapa de Anomalia Bouguer:

Os dados de gravimetria para análise de anomalia Bouguer foram gerados pelo Bureau Gravimétrique International (BGI) e obtidos do site <http://bgi.omp.obsmpip.fr/>. Os dados originais são pontuais em formato XYZ e foram interpolados no programa Oasis Montaj, utilizando como método de interpolação a Mínima Curvatura, com células de tamanho 250 x 250 metros.

2.6.2 Mapa de Anomalia Bouguer Residual:

Para a geração do mapa de anomalia Bouguer residual foi computado, primeiramente, um mapa da componente regional a partir do mapa de anomalia Bouguer gerado anteriormente, utilizando um filtro de continuação para cima de 25 km. O resultado final foi obtido a partir da subtração dos valores do mapa da componente regional pelos valores do mapa de anomalia Bouguer.

3 Resultados e Discussão

Dentre os poços cedidos pela ANP apenas um possuía informações sobre idades da seção perfurada. Este poço designado neste trabalho de 'poço A', perfurado na região do talude da bacia, atravessou as formações Ubarana e Paracuru e parte da formação Mundaú (Figura 5). De acordo com Condé *et al.* (2007), a formação Mundaú faz parte da fase Rife da bacia do Ceará, a qual se encerrou em meados do Aptiano. Segundo esses autores, a Formação Paracuru, que se sobrepõe discordantemente à formação Mundaú, compreende o que eles chamam de "seção transicional ou pós-rifte" e foi depositada entre meados do Aptiano e início do Albiano. O topo da Formação Paracuru, em águas profundas, é interpretado como sendo correlato à discordância da fragmentação continental facilmente identificada nas porções proximais da bacia em água rasas. A Formação Ubarana, atravessada pelo poço A em águas profundas, compreende toda a seção sedimentar Drifte da bacia do Ceará, sub-bacia Mundaú (Condé *et al.*, 2007).

O poço A foi correlacionado a uma seção sísmica *dip* que passa muito próximo a ele, o que permitiu a transposição para esta das informações lito e geocronológicas fornecidas pelo poço em questão. Assim sendo, foi possível identificar diretamente os horizontes correspondentes aos topos das formações Mundaú e Paracuru. As informações das idades da seção drifte também foram marcadas na linha sísmica, porém, os horizontes sísmicos regionalmente mapeáveis não necessariamente corresponderam aos topos da cronozonas. Desta forma, os horizontes sísmicos da seção Drifte possíveis de serem mapeados tiveram sua idade interpretadas a partir dos dados cronoestratigráficos do poço A cru-

zados com as informações do diagrama estratigráfico da bacia.

Os horizontes sísmicos mapeados na seção Drifte foram escolhidos com base em critérios da sismoestratigrafia, quais sejam: análise de sismofácies e de terminações de refletos (Mitchum *et al.*, 1977a). A preferência foi dada para os horizontes que apresentavam características inequívocas de superfícies erosivas que pudessem ser identificadas em todas ou, em grande parte, das linhas sísmicas usadas no trabalho. Assim sendo, identificaram-se nas seções sísmicas seis superfícies que atendiam a estes critérios, as quais foram mapeadas e interpretadas como discordância regionais e inferidas como limites de seqüências (Mitchum *et al.*, 1977b).

Tendo sido definido que os horizontes sísmicos mapeados representavam limites de seqüências, estes foram relacionados temporalmente aos limites dos intervalos cronoestratigráficos marcados na seção sísmica a partir das informações do poço A (Figura 6). Para a definição das idades dos limites de seqüências foi feita uma correlação com o diagrama estratigráfico da bacia, e desta, foram tirados os nomes correspondentes às discordâncias regionais que também definem limites de seqüências segundo Condé *et al.* (2007). Desta forma, as idades inferidas para os limites de seqüências identificados neste trabalho a partir do mapeamento dos horizontes sísmicos foram: discordância da base do Albiano; discordância do Cenomaniano médio; discordância do Turoniano; discordância da base do Maastrichtiano; discordância intrapaleoceno; e discordância do Eoceno médio (Figura 7).

Após identificação dos horizontes na seção sísmica a qual o poço A foi correlacionado, procedeu-se a correlação para as outras 25 seções sísmicas usadas neste trabalho através de cruzamentos entre linhas *dip* e *strike*. Os horizontes mapeados neste trabalho foram, além das seis discordâncias da seção Drifte relatadas acima, o topo da Formação Paracuru, o qual também corresponde à discordância da fragmentação continental; o topo da Formação Mundaú que corresponde ao final da fase Rifte (todos devidamente correlacionados ao poço A); e o Embasamento, o qual, apesar de não ter sido amostrado no poço A, foi interpretado através do critério de padrão de sismofácies.

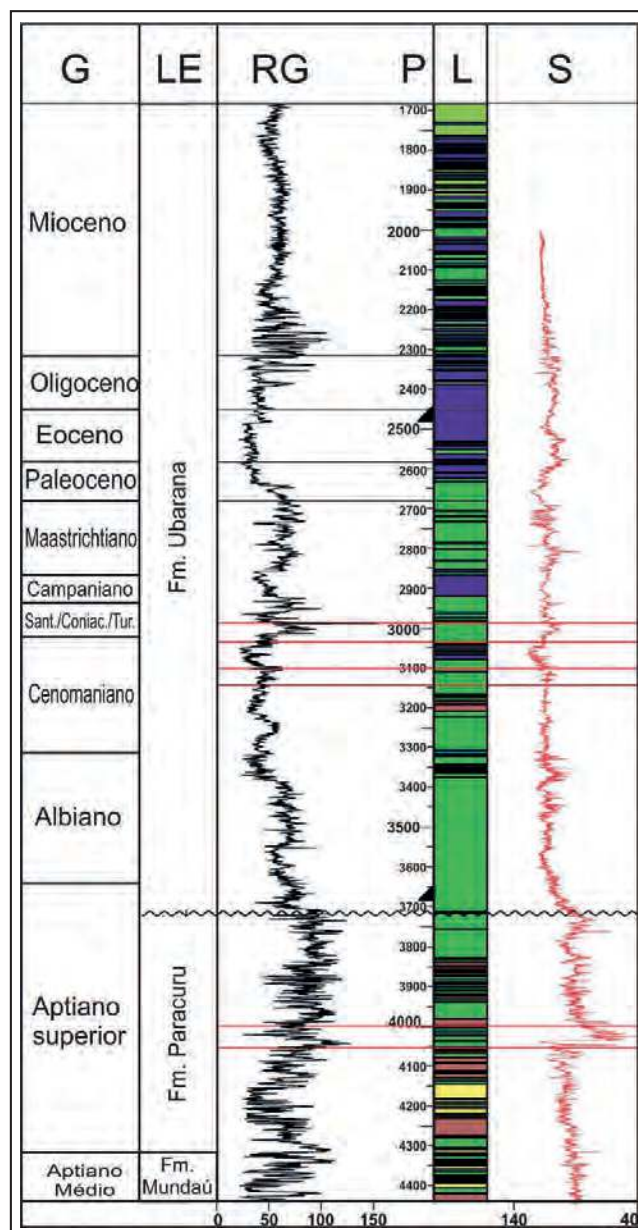


Figura 5 “Poço A” usado para fazer a correlação com as seções sísmicas por possuir todas as informações necessárias. Legenda: G- geocronologia; LT- litoestratigrafia; RG- perfil de raios gama; P- profundidade; L- litologia do poço; S- perfil sísmico. Cores: Verde: folhelho; Amarelo: arenitos; Marrom: siltitos;

No processo de mapeamento das superfícies sísmicas, notou-se nas seções sísmicas que na porção leste da área de estudo todos os horizontes sísmicos mapeados os quais possuem padrão de sismofácies plano-paralelas foram deformados rompidos por um corpo com feição intrusiva e com padrão de sismofácies caótico; ou seja, completamente dife-

Arcabouço Estratigráfico da Seção Drifte em Águas Profundas da Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará, e sua Relação com a Datação de Eventos Vulcânicos
Isabella Lopes Antunes Rios & Jorge de Jesus Picanço de Figueiredo

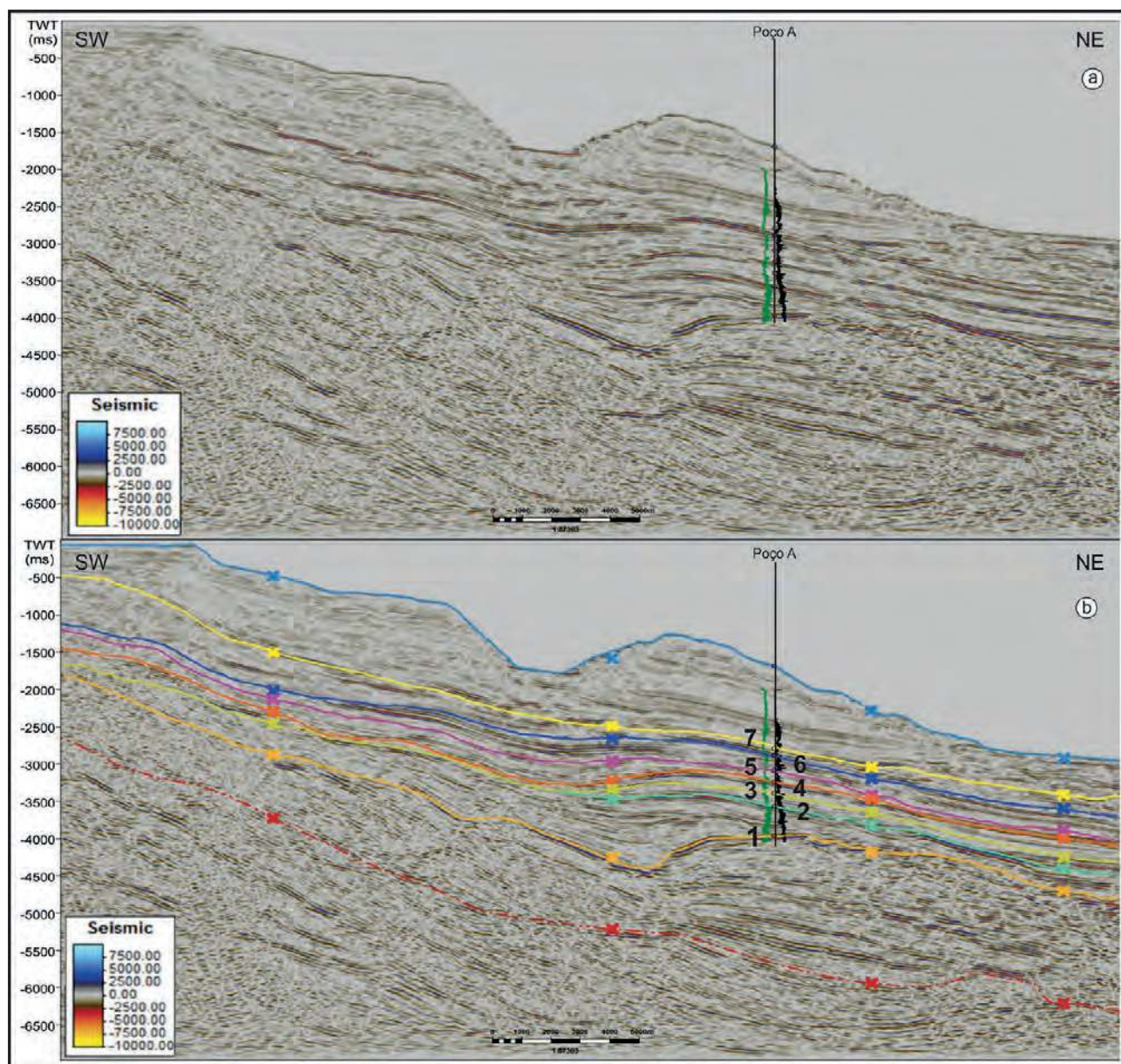


Figura 6 (a) seção sísmica *dip* passando sobre o “poço A” não interpretada. (b) seção sísmica *dip* passando sobre o “poço A” interpretada com os horizontes escolhidos com base em critérios sismoestratigráficos. Os horizontes foram mapeados sobre superfícies erosivas interpretadas como limites de seqüências. Estes horizontes foram correlacionados com as informações cronoestratigráficas do poço e com o diagrama estratigráfico da bacia mostrado na Figura 7. A numeração de 1 a 7 na Figura 6a corresponde aos grandes limites de seqüências amostrados no diagrama estratigráfico da figura 7.

rente do padrão de sismofácies do seu entorno (Figura 8). O caráter intrusivo do corpo foi interpretado em função dos refletores sísmicos plano-paralelos do seu entorno mostrarem-se arqueados para cima próximo ao contato com o este (Figura 8). O padrão de sismofácies do corpo interpretado como intrusivo, apesar de ser completamente diferente daquele

ao seu redor, mostra muitas semelhanças com o padrão de sismofácies das porções mais inferiores das seções sísmicas interpretadas como o embasamento da bacia. Assim sendo, o horizonte que marca o topo do embasamento foi extrapolado para marcar o topo do corpo intrusivo. Desta forma, o mapa do embasamento revelou uma estrutura dômica alongada no

**Arcabouço Estratigráfico da Seção Drifte em Águas Profundas da
Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará, e sua Relação com a Datação de Eventos Vulcânicos**
Isabella Lopes Antunes Rios & Jorge de Jesus Picanço de Figueiredo

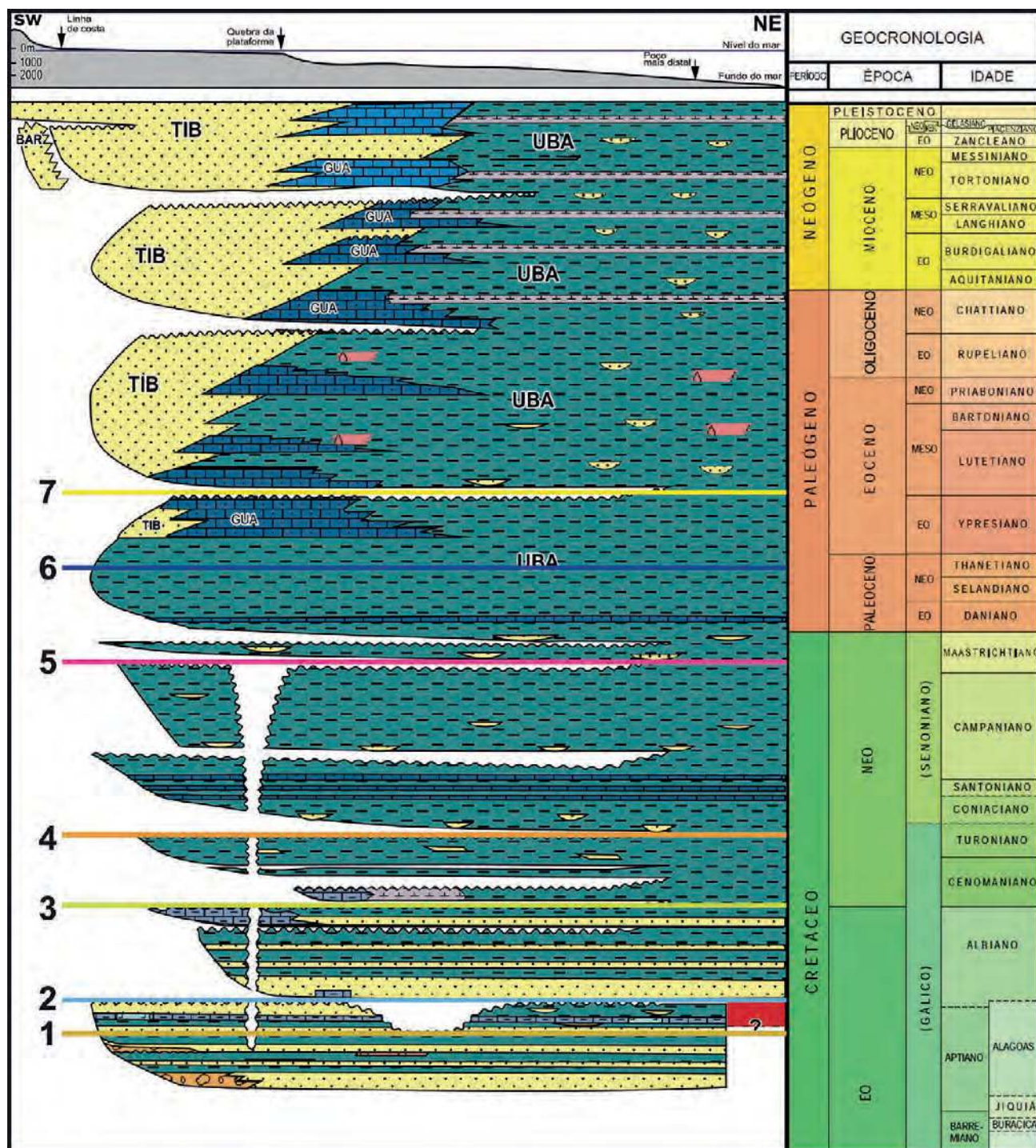


Figura 7 Diagrama estratigráfico da bacia do Ceará modificado de Condé *et al.* (2007). As linhas horizontais e seus respectivos números representam os limites de seqüências interpretados na seção sísmica a saber (de baixo para cima): Discordância da base do Albiano; Discordância do Cenomaniano médio; Discordância do Turoniano; Discordância da base do Maastrichtiano; Discordância intrapaleoceno; e Discordância do Eoceno médio

sentido N-S medindo em seu eixo mais longo *ca.* 25 km e o mais curto *ca.* 5 km perfazendo um total de *ca.* 250 km². Todavia, em uma análise detalhada do mapa de contorno estrutural nota-se que há duas protuberâncias topográficas, uma ao norte e outra ao sul, que se somam para formar a estrutura aparentemente única e alongada no sentido N-S (Figura 9). Os mapas das superfícies mais novas que o embasamento mostraram que o corpo, interpretado como intrusivo, rompeu a seção sedimentar até o nível do Paleoceno (Figura 10).

Tendo sido interpretado como correlacionado ao Embasamento da bacia e dado ao histórico de vulcanismo na área, o corpo intrusivo poderia ser, *a priori*, interpretado como uma intrusão magmática; porém, a interpretação sísmica em dados em linhas 2D com processamento focado para o melhor imageamento da seção sedimentar mais rasa carrega um alto grau de incerteza quanto à interpretação das

porções mais profundas da bacia, principalmente relacionada ao posicionamento do embasamento. Somado a isso, há o fato de já terem sido encontrados na porção de água rasa da bacia do Ceará depósitos salinos em dois poços, um deles com mais de 200 m de espessura (Condé *et al.*, 2007). Por este motivo, foi necessário a execução de outro teste para se verificar se a interpretação da origem magmática para o corpo intrusivo seria corroborada.

Optou-se pela análise de métodos potenciais, mais especificamente a análise gravimétrica da área através de mapa de anomalia *Bouguer* residual, o qual permite delimitar áreas que apresentem diferentes profundidades do embasamento e diferença de densidade das rochas. Esta análise mostrou uma anomalia onde se observam baixos gravimétricos circundados por altos gravimétricos coincidentes com o corpo intrusivo mapeado na sísmica, corroborando

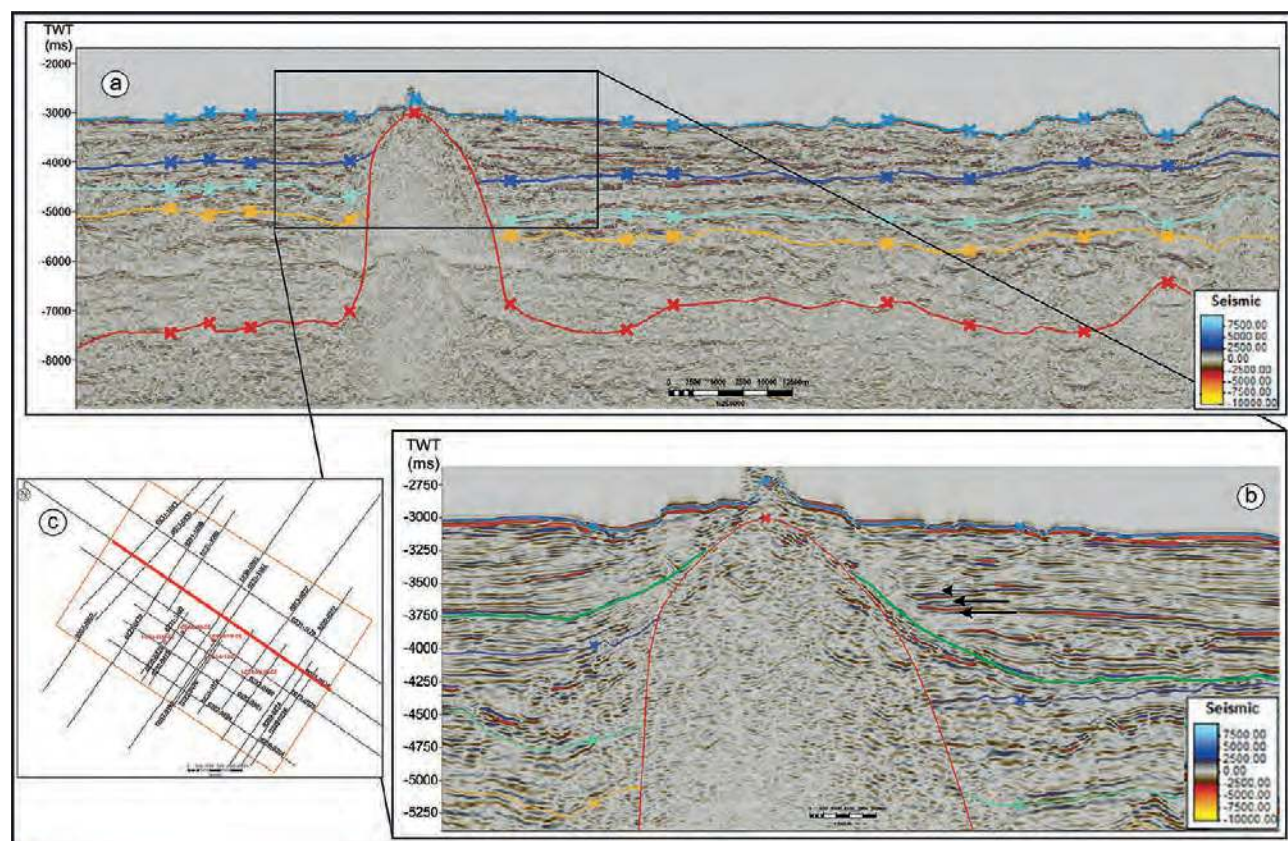


Figura 8 (a) Seção sísmica *strike* (paralela à linha de costa) mostrando um corpo em forma de pináculo delimitado pela linha vermelha com padrão de sismofácies completamente diferentes daquelas do seu redor. Observa-se ainda o arqueamento dos horizontes sísmicos pelo corpo em questão evidenciando-se o caráter intrusivo do mesmo. (b) Detalhe do corpo intrusivo mostrando o arqueamento e ruptura das camadas ao seu redor. (c) Mapa de localização da linha sísmica, melhor visualizado na Figura 4.

**Arcabouço Estratigráfico da Seção Drifte em Águas Profundas da
Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará, e sua Relação com a Datação de Eventos Vulcânicos**
Isabella Lopes Antunes Rios & Jorge de Jesus Picanço de Figueiredo

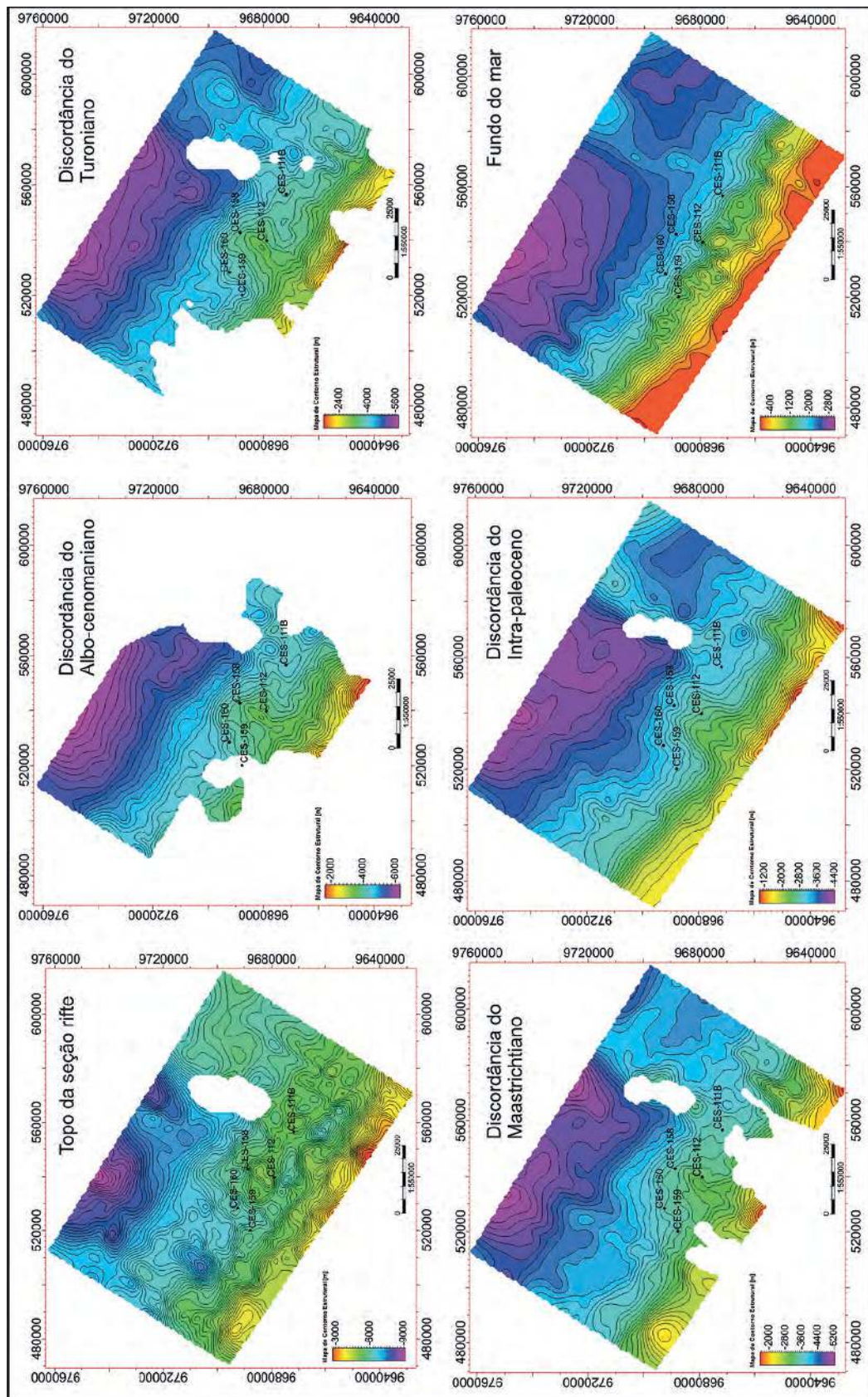


Figura 9 Mapa de contorno estrutural do embasamento da bacia em profundidade. Observa-se o corpo intrusivo (curva de níveis fechadas variando do tom amarelo ao vermelho) na porção leste do mapa delimitado em forma longitudinal alinhado grosseiramente no sentido N-S. A observação detalhada da estrutura permitiu a individualização entre dois altos nas extremidades norte e sul (assinalados por setas) separados por uma cela.

**Arcação Estratigráfica da Seção Drifte em Águas Profundas da
Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará, e sua Relação com a Datação de Eventos Vulcânicos**
Isabella Lopes Antunes Rios & Jorge de Jesus Picanço de Figueiredo

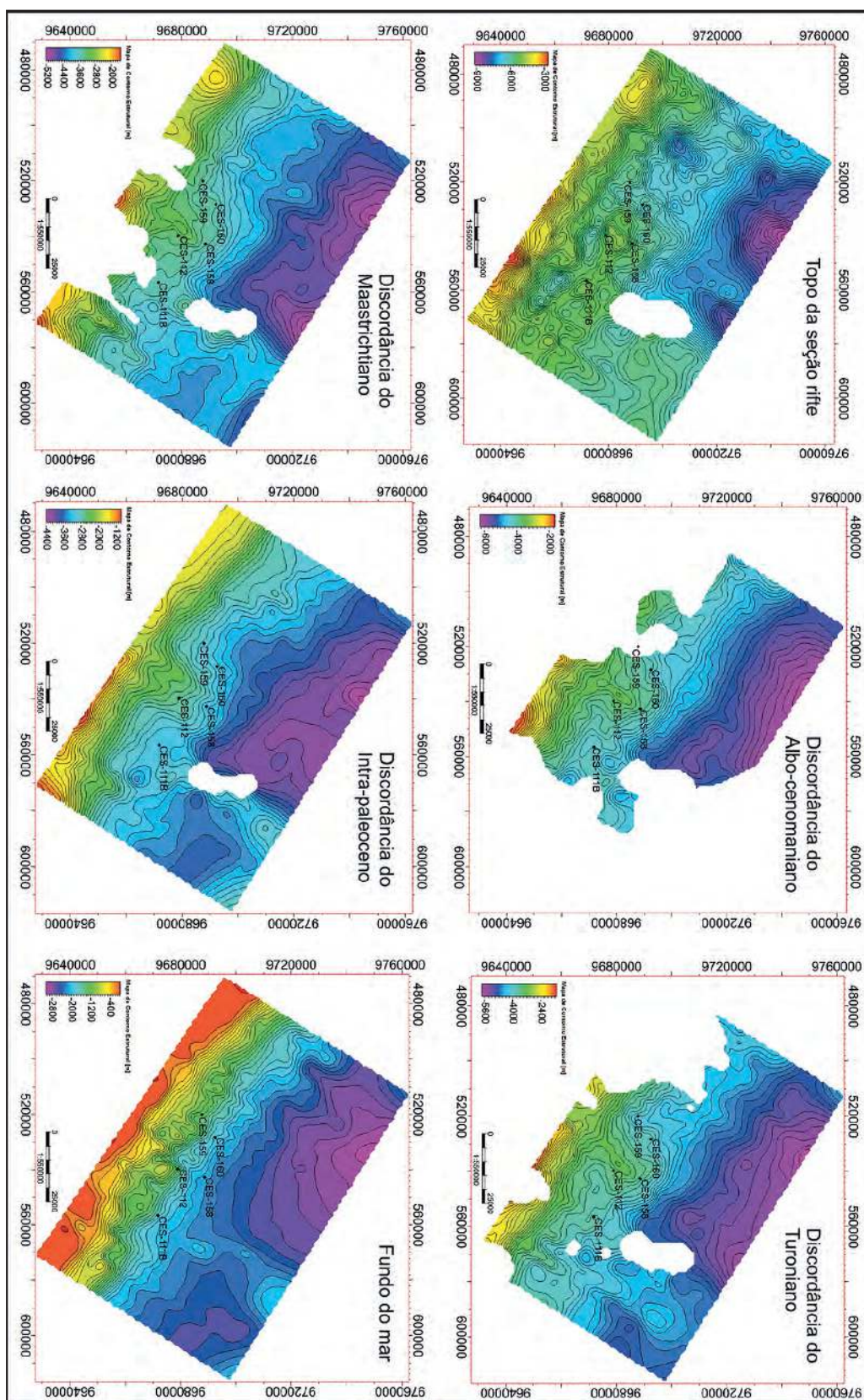


Figura 10 Mapas de contorno estrutural em profundidade mostrando que o corpo intrusivo tem sua origem mais profunda que a seção Rifte; logo, só pode estar relacionado ao embasamento da bacia e não a algum possível diápiro da seção sedimentar. Drifte. Observa-se também que a intrusão rompeu o registro sedimentar já previamente depositado até pelo menos o Paleoceno, sendo esta, portanto, mais nova que o Paleoceno.

assim a interpretação de que a intrusão não está relacionada à cobertura sedimentar da bacia, mas a algo mais profundo que pode ser diferenciado do meio encaixante ao nível da interface Manto-Crosta.

O mapa de anomalia *Bouguer* residual também corroborou outra inferência sugerida pelo mapa de contorno estrutural do embasamento, qual seja, a de que não se trata de uma única intrusão, mas, de dois corpos com formato grosseiramente circular localizados muito próximos um do outro (um ao norte e outro ao sul) e que, por isso, tem a aparência de um único corpo alongado (Figura 10).

Definida a gênese magmática para as duas intrusões propõe-se suas datações relativas através de correlação estratigráfica dos corpos com a pilha sedimentar aos seus redores. A observação baseada nos princípios da sismoestratigrafia de terminação dos refletores sísmicos mostra que as intrusões arquearam e romperam estratos sedimentares até, pelo menos, o horizonte sísmico mapeado e interpretado como um limite de sequência de idade Paleocênica. Sobre este horizonte sísmico observa-se que os refletores terminam em *onlap* mostrando que não foram arqueados, mas, ao contrário, foram depositados sobre altos paleotopográficos (altos previamente existentes).

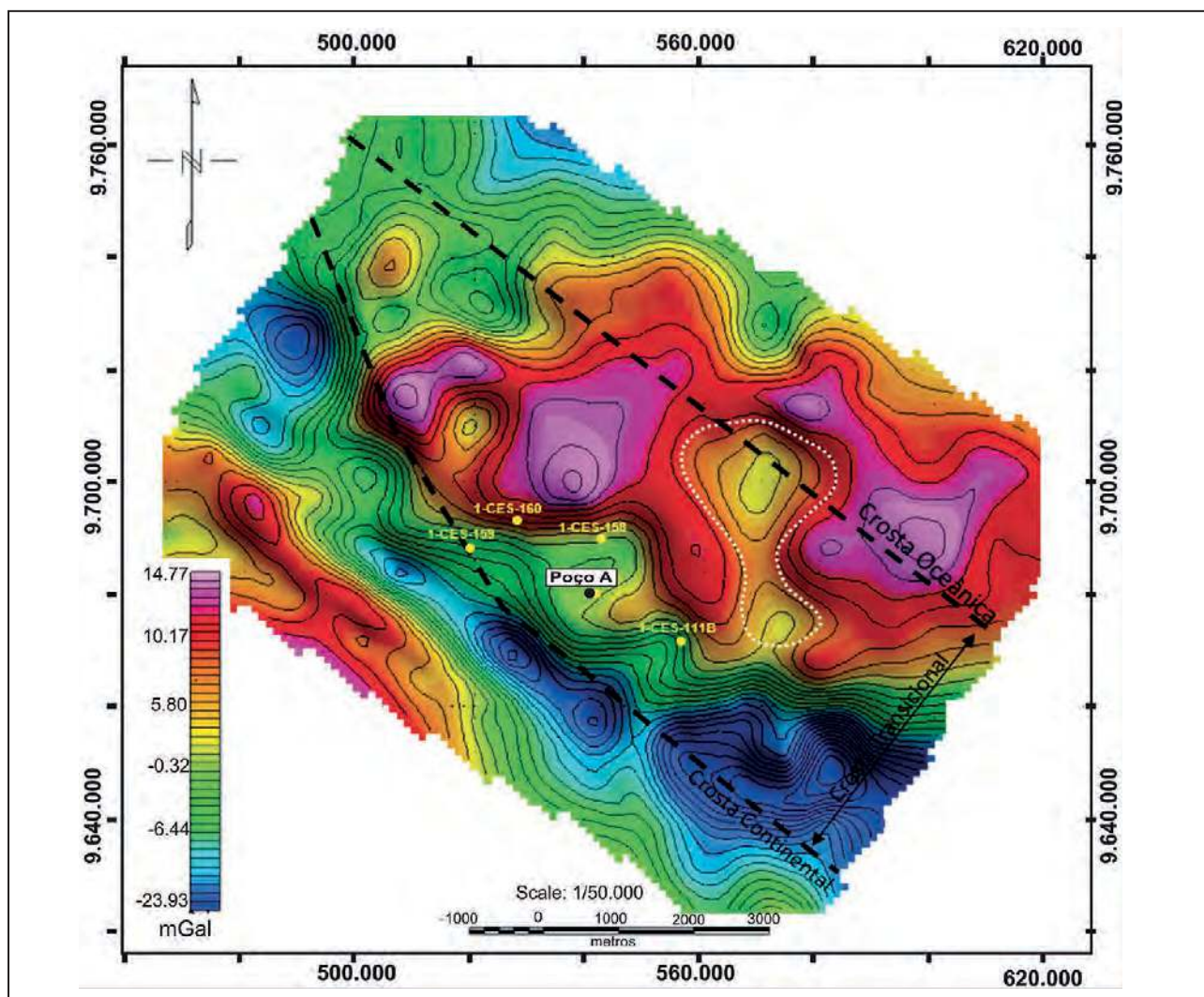


Figura 11 Mapa de anomalia *Bouguer* residual mostrando, dentro do polígono pontilhado branco, um baixo gravimétrico quando comparado com ao meio ao redor, ou seja, o Manto. Este mapa também mostra duas anomalias muito próximas, mas separadas, uma ao norte e outra ao sul.

Estas observações levam à inferência de que a gênese dos dois corpos magmáticos deve ser datada, relativamente, a um momento após o Paleoceno, o que está em acordo com as datações apresentadas por Misuzaki *et al.* (2002) para as rochas vulcânicas amostradas em poços de águas rasas da bacia do Ceará, quais sejam, variando entre 44 e 32 Ma (Eoceno médio – Oligoceno inicial). Todavia, o que se pode concluir positivamente é que não houve mais perturbação da pilha sedimentar pelos eventos magmáticos após aquela que rompeu os estratos do Paleoceno, mas, antes disso, a atividade magmática pode ter sido policíclica com vários pulsos de magmatismo se repetindo desde o Campaniano. Esta é uma interpretação possível visto que já foram datados eventos magmáticos com gênese relacionada a diferentes pulsos desde o Campaniano, na bacia vizinha de Potiguar (Misuzaki *et al.*, 2002).

Outra inferência possível através da análise da terminação dos refletores sísmicos em *onlap* contra o alto paleotopográfico representado pela intrusão é que esta ficou exposta no fundo do mar como montes submarinos até bem pouco tempo atrás sugerindo um possível edifício vulcânico submarino possivelmente no Eoceno.

4 Conclusões

A análise de dados sísmicos e gravimétricos de uma área de aproximadamente 10.000 km² localizada nas porções de talude e bacia profunda da sub-bacia do Mundaú, bacia do Ceará revelou a ocorrência de pelo menos 6 superfícies regionais de caráter erosivo na seção sedimentar da fase drifte da bacia, entre o Albiano inicial e o Eoceno médio, interpretadas como limites de sequências deposicionais baseado nos princípios da Estratigrafia de Sequências. Presença de duas intrusões magmáticas localizadas na porção leste da área estudada muito próximas uma da outra dando a impressão de uma intrusão alongada no sentido N-S. A idade das intrusões são após o Paleoceno, possivelmente Eoceno, sendo temporalmente correlacionadas às rochas vulcânicas já datadas na porção plataformar da bacia, sendo que as intrusões são edifícios vulcânicos que permaneceram expostos no fundo mar até pouco tempo atrás, possivelmente até o Pleistoceno.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis (ANP) pela liberação dos dados solicitados para a realização deste trabalho e à Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pela liberação do uso do *software* Petrel no Laboratório de Sismoestratigrafia. A autora Isabella rios agradece ao Prof Webster Mohriak pela orientação durante o mestrado na UERJ. Por fim os autores agradecem ao Prof. Dr. Leonardo Borghi pela revisão criteriosa e detalhada feita na versão original do manuscrito.

6 Referências

- Balmino, G.; Vales, N.; Bonvalot, S. & Briais, A. 2011. Spherical harmonic modelling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies. *Journal of Geodesy*, 86(7): 499-520.
- Condé, V.C.; Lana, C.C.; Pessoa Neto, O.C.; Roesner, E.H.; Morais Neto J.M. & Dutra, D.C. 2007. Bacia do Ceará. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 347-355.
- Marinho, M. & Mascle, J. 1987. Evolução Estrutural do Platô Marginal da Guiné e sua Relação com a Formação do Oceano Atlântico Centro-Equatorial. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(2): 111-117.
- Matos, R.M.D. 2000. Tectonic Evolution of the Equatorial South Atlantic. Atlantic Rifts and Continental Margins. American Geophysical Union. *Geophysical Monograph*, 115: 331-353.
- Misuzaki, A.M.P.; Thomaz Filho, A.; Milani, E.J. & Césero, P. 2002. Mesozoic and cenozoic igneous activity and its tectonic control in the northeastern region of Brazil, South America. *Journal of South America Earth Sciences*, 15: 183-198.
- Mitchum, R.M., Jr.; Vail, P.R. & Sangree, J.B. 1977a. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. *AAPG Memoir*, 26: 117-133.
- Mitchum, R.M., Jr.; Vail, P.R. & Thompson III, S. 1977b. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. *AAPG Memoir*, 26: 53-62.
- Perlingeiro, G.; Vasconcelos, P.M.; Knesel, K.M.; Thiede, D.S. & Cordani, U.G. 2013. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology of the Fernando de Noronha Archipelago and Implications for the Origin of Alkaline Volcanism in the NE Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 249: 140-154.