



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA
FACULDADE DE GEOFÍSICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FABRÍCIO SOUZA DA SILVA

**ANÁLISE RASA DE SUBSUPERFÍCIE COM RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO
(GPR) EM DEPÓSITOS NEÓGENOS NA PRAIA DO ATALAIA (SALINAS) E
ARICURU (MARACANÃ), NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

BELÉM-PARÁ

2015

FABRÍCIO SOUZA DA SILVA

**ANÁLISE RASA DE SUBSUPERFÍCIE COM RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO
(GPR) EM DEPÓSITOS NEÓGENOS NA PRAIA DO ATALAIA (SALINAS) E
ARICURU (MARACANÃ), NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Geofísica do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará
- UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Afonso César Rodrigues
Nogueira.

**BELÉM – PARÁ
2015**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/UFPA

Silva, Fabrício Souza da 1990-

Análise rasa de subsuperfície com radar de penetração no solo (GPR) em depósitos neógenos na praia do Atalaia (Salinas) e Aricuru (Maracanã), Nordeste do estado do Pará / Fabrício Souza da Silva. – 2015.

43 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2015.

1. Geologia estratigráfica. 2. Neógeno. 3. Radar de Penetração no Solo. 4. Região do Salgado. I. Título.

CDD 22 ed. 551.7

FABRÍCIO SOUZA DA SILVA

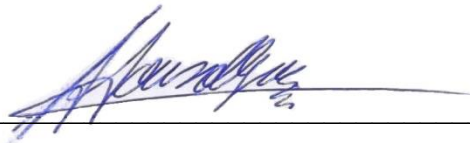
**ANÁLISE RASA DE SUBSUPERFÍCIE COM RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO
(GPR) EM DEPÓSITOS NEÓGENOS NA PRAIA DO ATALAIA (SALINAS) E
ARICURU (MARACANÃ), NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Geofísica do Instituto de
Geociências da Universidade Federal do Pará-
UFPA, em cumprimento às exigências para
obtenção de Bacharel em Geofísica.

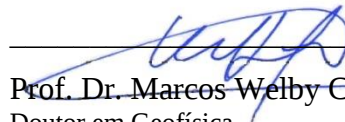
Data de Aprovação: 09/01/2015

Conceito: **BOM**

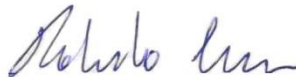
Banca Examinadora



Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira - Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Marcos Welby Correa Silva - Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Roberto César de Mendonça Barbosa – Membro
Doutor em Geologia Sedimentar
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo o que conquistei.

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica na qual deu suporte para a realização deste trabalho de pesquisa, a Faculdade de Geofísica por todo conhecimento adquirido durante a Graduação e ao GSED (Grupo de Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia) e todos os seus membros em especial Kamilla Borges e Hudson Santos.

Ao meu Orientador Dr. Afonso Nogueira pela amizade, apoio e orientações para o êxito deste trabalho.

Aos Professores Dr. Marcos Welby, Dr. José Bandeira (JB) e Dr. Joelson Soares pela ajuda durante a aquisição e tratamento dos dados. Agradeço todos os professores da FAGEOF em especial Ellen Gomes, Alberto Leandro e Lourenildo Leite. Ao Msc. Gildenilson Duarte pelos ensinamentos com Reflex.

Ao meu amigo Thales Almeida pela amizade durante a Graduação e pela ajuda durante a aquisição de dados.

À minha mãe Francisca Cavaleiro pelo esforço em me sustentar na Universidade, aos meus irmãos Ney Martins, Rosiane, Ivana e Thaís pela ajuda nos momentos difíceis. E a todos os demais membros da minha família.

Aos meus amigos David Rocha e Jéssica Lia, pela amizade construída, paciência e ajuda em todos os momentos sejam dentro ou fora da UFPa.

Aos queridos Elen Amorim e Glauter Takeda (Descascando), pela amizade construída principalmente durante as dificuldades no curso.

A todos meus amigos da turma de 2011, especialmente Aline Ohashi, Caio Perdigão, Desirréé Vieira, Thiago Marques e Walber Leal, pela amizade cativada e por toda ajuda durante nossa graduação.

À todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação, mas que não foram citadas desde o CEFET-Pa, cursinho pré-vestibular e UFPa.

RESUMO

Estudos geológicos-geofísicos baseados na técnica de Radar de Penetração no Solo (GPR=Ground Penetrating Radar) foram realizados na Praia do Atalaia, Município de Salinópolis, e na Vila de Aricuru, Município de Maracanã, Nordeste do Pará. O imageamento de até 5m de profundidade em combinação com dados sedimentológicos, permitiu a identificação de litofácies, geometria de camadas e de estruturas de possível origem tectônica dos depósitos neógenos carbonáticos e siliciclásticos relacionadas, respectivamente, às formações Pirabas e Barreiras, bem como sedimentos quaternários da unidade Pós-Barreiras, que constituem o preenchimento da Plataforma Bragantina. Trabalhos prévios utilizando GPR na Praia do Atalaia, alcançando uma profundidade de até 13m, têm demonstrado o topo deformado da Formação Pirabas. Foi utilizada esta mesma técnica de imageamento raso que embora não tenha alcançado as camadas de carbonatos, as reflexões mostraram uma perfeita correlação com os níveis horizontais de ritmitos e arenitos da Formação Barreiras e que, algumas vezes, registraram paleocanais rasos. Pode-se afirmar que a deformação considerada para os carbonatos na Praia do Atalaia, não são observadas em superfície. As inclinações aleatórias das camadas da Formação Pirabas estão relacionadas à ação erosiva da ação de ondas e correntes de maré que proporcionam a retiradas de litofácies mais finas intercaladas às camadas mais litificadas de carbonato, gerando instabilidades gravitacionais e fraturamento, um típico processo de recuo de falésia. Em Aricuru, onde os siliciclásticos do Barreiras são pouco espessos, a seção de GPR obtida mostrou uma perfeita correlação das reflexões com os níveis carbonáticos horizontais, principalmente os biohermitos que formam níveis de *hardgrounds*, cuja extensão ocorre por dezenas de metros sob os sedimentos quaternários da praia. Estes depósitos estão interrompidos por uma falha normal, detectada pelo contraste de propriedades físicas entre as litofácies. A aplicação de GPR nos afloramentos de rochas néogenas se traduz em uma importante ferramenta para complementar as observações geológicas, bem como para guiar futuros estudos que visam desvendar a arquitetura do substrato raso na zona costeira da Região do Salgado.

Palavras-chave: Neógeno. Radar de Penetração no Solo. Região do Salgado.

ABSTRACT

Geological-geophysical studies based on Ground Penetrating Radar (GPR) were carried out in the Atalaia Beach, Salinópolis district, and Aricuru village, Maracanã district, northeastern Pará. The 5m depth radar imaging in combination with sedimentological data, allowed the identification of lithofacies, layer geometry and possible tectonic structures in Neogene carbonate and siliciclastic deposits respectively related to Pirabas and Barreiras formations and quaternary sediments of the Post-Barreiras unit, accumulated in the Bragantina Platform. Previous work using GPR in the Atalaia Beach, reaching a depth of up to 13m, have shown tectonic deformation in the upper part of Pirabas Formation. We used this same technique of shallow imaging that it did not reach the layers of carbonates, the reflections showed a perfect correlation with the rhythmite and sandstone horizontal levels of the Barreiras Formation, sometimes recording shallow paleochannels. The deformation considered for carbonates in the Atalaia Beach, are not observed in the surface. Random dip bedding of the Pirabas Formation are related to the erosive action of wave and tidal currents that provide the removal of finer lithofacies interbedded with more lithified carbonate layers, generating gravitational instabilities and fractures, a typical cliff retreat process. In Aricuru where the Barreiras siliciclastic are little thick, the obtained GPR section showed a perfect correlation of reflections with carbonate horizontal levels, especially biohermite forming hardgrounds levels, extend by dozens of meters overlaid by Quaternary beach sediments. These deposits are interrupted by a normal fault, detected by the physical properties contrast of the lithofacies. The application of GPR in Neogene rocks is a important tool to obtain complementary geological observations, as well as, to guide future studies that aimed unravel the shallow substrate architecture in the coastal area of the Salgado Region.

Keyword: Neogene. Ground Penetrating Radar. Salgado region.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização da área de estudo.....	11
Figura 2- Perfil estratigráfico da Praia do Atalaia.....	19
Figura 3- Fácies da Formação Pirabas no Atalaia.....	20
Figura 4- Contato entre diferentes fácies na Praia do Atalaia.....	20
Figura 5- Disposição dos lajedos de rochas carbonáticas na Praia do Atalaia.....	21
Figura 6- Rochas carbonáticas expostas na zona de arrebentação mostrando fraturamento aleatório.....	21
Figura 7- Modelo esquemático para explicar as inclinações aleatórias das camadas de calcário da praia do Atalaia.....	22
Figura 8- Perfil estratigráfico do afloramento de Aricuru, Município de Maracanã.....	24
Figura 9- Afloramento da Vila de Aricuru, Maracanã. Níveis de biohermito se destacando sobre os biocalcarenitos.....	25
Figura 10- Aspectos faciológicos de depósitos Neógenos da Vila de Aricuru, Maracanã.....	25
Figura 11- Localização dos perfis adquiridos na Praia do Atalaia.....	26
Figura 12- Aquisição na Praia do Atalaia.....	27
Figura 13- Seção 1 da Praia do Atalaia (A) processado e (B) Interpretado.....	28
Figura 14- Seção 2, continuação da anterior (A) Processada e (B) Interpretada.....	29
Figura 15- Seção 3 processada (figura 15-A) com reamostragem do final da seção anterior. Interpretação da seção 3 (figura 15-B), mostrando alguns padrões de reflexão típicos da Formação Barreiras.....	30
Figura 15- Seção 3 processada (figura 15-A) com reamostragem do final da seção anterior. Interpretação da seção 3 (figura 15-B), mostrando alguns padrões de reflexão típicos da Formação Barreiras.....	31
Figura 16- Seção 4 processada (figura 16-A), continuação lateral do levantamento, já é possível observar que o ruído torna-se cada vez mais significativo. Interpretação da seção 4 (figura 16-B) pode-se observar maior contaminação do dado por ruído devido à presença salina no ambiente.....	32
Figura 17- Seção 5 processada (figura 17-A), não é continuação lateral das demais seções. A presença de ruído é ainda mais acentuada. Interpretação da seção 5 (figura 17-	

B), devido a concentração salina a onda eletromagnética não foi tão penetrativa quanto nas demais seções adquiridas.....	33
Figura 18- Seções obtidas na zona de arrebentação da Praia do Atalaia. (A) seção 6 com janela de tempo de 120 ns, (B) seção 7 com janela de tempo de 80 ns e (C) seção 7 usando janela de 100 ns.....	34
Figura 19- Aquisição realizada na via paralela a linha de costa. Observar a topografia acidentada da via principal de Aricuru.....	35
Figura 20- Localização do perfil estratigráfico e das seções adquiridas em Aricuru-Maracanã.....	36
Figura 21- Seções processadas da área de Aricuru (figura 21-A), apresentam pequeno desnível topográfico que foi corrigido reposicionando considerando essa diferença. (B) Intepretação dos dados adquiridos em Aricuru. A Formação Pirabas foi imageada com bom realce dos <i>hardgrounds</i> (Bh), além de outras litologias dessa formação.....	37
Figura 22- Modelo esquemático da disposição das Formações Barreira e Pirabas e dos Sedimentos Pós-Barreiras na Vila de Aricuru-Maracanã.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
3 MÉTODOS.....	13
3.1 Caracterização faciológica e estratigráfica.....	13
3.2 Investigação por radar de penetração no solo.....	13
4 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	15
4.1 Arcabouço estrutural.....	15
4.2 Formação Pirabas.....	15
4.3 Formação Barreiras.....	16
4.4 Sedimentos Pós-Barreiras.....	16
5 ASPECTOS FACIOLÓGICOS E ESTRATIGRÁFICOS.....	17
5.1 Praia do Atalaia, Município de Salinópolis.....	17
5.2 Vila de Aricuru, Município de Maracanã.....	23
6 AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE PERFIS DE RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	26
6.1 Praia do Atalaia, Município de Salinópolis.....	26
6.2 Vila de Aricuru, Município de Maracanã.....	35
7 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS.....	42

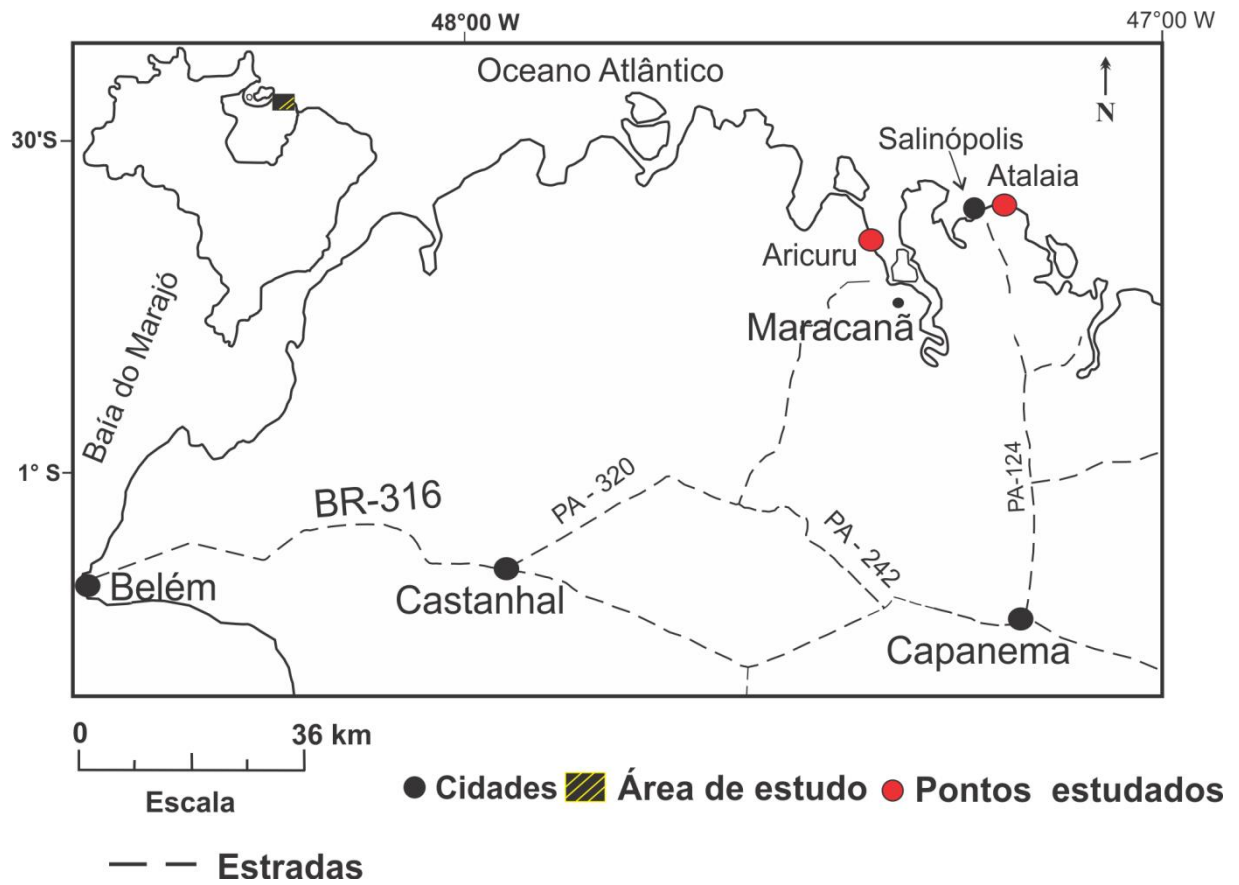
1 INTRODUÇÃO

Na região do Salgado no Nordeste do Pará ocorrem unidades carbonáticas e siliciclásticas neógenas representativas das formações Pirabas (Mioceno inferior), Barreiras (Mioceno Médio a Plioceno) e sedimentos quaternários da Unidade Pós-Barreiras que jazem sobre a Plataforma Bragantina (ROSSETTI; GÓES; SOUZA, 2001). As unidades siliciclásticas de topo alcançam espessuras de até 20m na região e os afloramentos de carbonatos da Formação Pirabas, com exceção de algumas frentes de lavra em jazidas, são escassos com ocorrências na forma de lajedos na zona litorânea, o que limita as informações quanto a espessura e principalmente do ponto de vista geométrico. Estas unidades têm sido estudadas geologicamente em afloramentos, estudos de subsuperfície envolvendo a técnica de Radar de Penetração do Solo (GROUND PENETRATING RADAR-GPR) são ainda incipientes. Rossetti (2003) e Rossetti e Góes (2001) analisaram dados de subsuperfície rasa obtidas pelo uso do GPR, registrando contraste de propriedade física até uma profundidade de aproximadamente 13m dos depósitos neógenos. O GPR foi aplicado nos depósitos miocenos na Ilha do Outeiro e Praia do Atalaia, para o auxílio no reconhecimento de fácies e análise estratigráfica. Na Praia do Atalaia, esta técnica foi usada por aqueles autores na detecção de estruturas deformadas ligadas à tectônica transcorrente que teria perturbado o acamamento destas rochas.

O presente trabalho visa comparar os resultados obtidos com aplicação do GPR com aqueles disponíveis na literatura da área, mostrando a geometria dos depósitos sedimentares neógenos e quaternários em afloramentos do litoral paraense, acrescentando discussão sobre a existência ou não de estruturas tectônicas dúcteis e/ou rúpteis conforme descritas em Rossetti (2003). A área de estudo deste trabalho de conclusão de curso, localizada na Região Nordeste do Estado do Pará, conhecida como Região do Salgado Paraense, incluiu a análise por GPR de depósitos sedimentares neógenos expostos em duas localidades: Praia do Atalaia, no Município de Salinópolis, e Aricuru, vila pertencente ao Município de Maracanã.

O Município de Salinópolis dista cerca de 220 km da Capital Belém, o acesso foi feito pela rodovia BR-316 (Belém- Brasília) até o Município de Castanhal, distante cerca de 70 km da Capital, então se pega a rodovia estadual PA-124 para chegar até Salinópolis. A partir de Castanhal, o acesso a Cidade de Maracanã é feito pela rodovia estadual PA-320, a distância até a capital é cerca de 165 km (Figura 1).

Figura 1- Localização da área de estudo.



Fonte: Adaptado de Amorim (2014).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho de conclusão de curso busca a definição litoestratigráfica e geológica das unidades neógenas da Região do Salgado, utilização como técnica o imageamento por GPR para ampliar a resolução das geometrias sedimentar e tectônica dos depósitos estudados. Após essas etapas concluídas, visa discutir a presença ou não de estruturas tectógenas utilizando os dados de afloramento e de GPR.

3 MÉTODOS

3.1 Caracterização faciológica-estratigráfica

A definição dos litotipos e principais estruturas foi auxiliada pelos sedimentólogos do Grupo de Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED) que seguiram a técnica de modelamento de fácies (WALKER, 1992), que envolve a individualização e descrição de fácies e seus processos deposicionais e interpretação paleoambiental. As observações obtidas pelo GSED foram integradas neste trabalho para auxiliar no reconhecimento litoestratigráfica das unidades neógenas para direcionar os estudos de GPR, foco deste trabalho.

3.2 Investigação por radar de penetração no solo (GPR)

O método GPR funciona através da emissão de ondas eletromagnéticas de forma contínua diretamente no local de investigação, detectando o contraste de propriedade física da subsuperfície, trata-se de um método geofísico não destrutivo, pois as ondas interagem apenas com materiais que possuem propriedade dielétrica. A faixa de frequência de uso do GPR vai desde 10 MHz a 2.5 GHz, acima desse valor trata-se de micro-ondas e as partículas começam a vibrar dissipando energia em forma de calor. Quanto maior for a frequência utilizada para investigação, maior será a interação com o meio investigado, gerando uma seção radargrama com boa resolução da subsuperfície, porém a profundidade investigada diminui, do contrário, quando o valor de frequência é baixo a profundidade investigada é maior, mas a resolução do radargrama tende a diminuir. Ocorre perda de energia quando a onda eletromagnética propaga-se por meio dissipativo, como regiões salinas, pois a interação da onda com certos minerais faz com que haja perda de energia, resultado então em menor penetração da onda do sinal emitido.

O equipamento utilizado para aquisição nas localidades de estudo, foi o GPR da marca Geophysical Survey Systems, Inc. Modelo SIR-2, com antena monostática de 200 MHz e ritmo de passo lento na aquisição. O aparelho usa uma bateria de 12 V, e executado em um modo de gravação contínua. A seção radargrama pode ser visualizada na CPU que acompanha o equipamento durante a aquisição, este que também realiza o armazenamento dos dados de GPR.

Após a aquisição, foram aplicados filtros usando o software Reflex para melhorar a qualidade dos dados e aplicação de algumas correções. Depois de processadas, as seções foram interpretadas usando os seguintes padrões de reflexão (ROSSETTI; GÓES, 2001): (1) horizontais ou sub-horizontais, devido a deposição sedimentar em ambiente plano ou com pouca irregularidade; (2) divergente, característico de camadas de baixa inclinação ($<30^\circ$) com terminações em downlap/onlap; (3) ondulantes, que são reflexões de camadas que apresentam elevado grau de curvatura, com presença de vales e/ou crista; (4) hiperbólicas, são devido a objetos enterrados pela ação humana, tal como de esgoto e/ou água; e (5) caóticas que são reflexões em nível de ruído.

No processamento, ruídos de alta frequência e ruído devido à trepidação do equipamento foram atenuados com o uso de filtros adequados, filtros de ganho também foram usados. O controle de superfície foi realizado com marcações feitas a cada 10m.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 Arcabouço estrutural

A área de estudos se encontra na Plataforma Bragantina, zona do embasamento com estabilidade tectônica, é representada por rochas ígneas e metamórficas. A Plataforma Bragantina é limitada a leste pela Bacia Bragança-Vizeu, a oeste pela sub-Bacia Cameté e ao sul pelo Arco do Guamá (ROSSETTI; GÓES, 2004), são observáveis na Plataforma Bragantina as Formações Pirabas e Barreiras, além dos Sedimentos Pós-Barreiras. Esta plataforma é delimitada a oeste pela Plataforma do Pará, a leste pela Bacia Bragança-Vizeu e ao Sul pela Bacia do Parnaíba (ROSSETTI; GÓES, 2004). Corresponde às áreas continentais emersas e submersas que permaneceram estáveis nos episódios de tectônica distensiva que ocorreram durante a quebra do Gondwana e abertura do Atlântico Equatorial no Jurássico/Cretáceo inferior (AZEVEDO, 1991). Representa a área do embasamento localizada entre as bacias sedimentares que compõem o Sistema de Graben do Marajó, ao oeste, a Bacia de Bragança-Vizeu, ao leste, a Bacia do Pará-Maranhão, ao norte, e as bacias do Amazonas e Grajaú, ao sul (ROSSETTI; GÓES, 2004; TATUMI *et al.*, 2008). Esta plataforma é composta, da base para o topo, pelos depósitos carbonáticos da Formação Pirabas do Oligoceno-Mioceno inferior e na parte superior, pelos depósitos litorâneos e continentais da Formação Barreiras do Mioceno Médio (GÓES, 1981; ROSSETTI, 2001). Sobreposto a esses sedimentos ocorre uma cobertura laterítica do Mioceno Superior (ROSSETTI, 2001) e por último ocorre sedimentos areno-argilosos a argilo-arenosos quaternários denominados sedimentos Pós-Barreiras (ROSSETTI *et al.*, 1989) que repousam sobre a crosta laterítica.

4.2 Formação Pirabas

A Formação Pirabas se encontra exposta em alguns pontos da região Nordeste do Pará (região do salgado), foi depositada de forma discordante sobre rochas do Pre-Cambriano e também sobre rochas cretáceas da Formação Ipixuna. Localmente encontra-se interdigitada com a Formação Barreiras (ROSSETTI, 2006). Ela ocorre em regiões de reativação de falhamento do Cretáceo Inferior ligado a geração da Fossa do Marajó (LEITE; NASCIMENTO FILHO; SILVA JUNIOR, 1992).

Depositada durante o Mioceno Inferior, a Formação Pirabas é caracterizada por sedimentação carbonática contendo margas, biocalcarenito estratificados ou não estratificados, biocalcirudito, biocaciluditos, folhelhos negros e cinza esverdeados, além de

enorme conteúdo fossilífero como conchas, foraminíferos e restos de vegetais com concreções de pirita (PETRI, 1954, 1957; FERREIRA, 1966; GÓES *et al.*, 1990; ROSSETTI; GÓES, 2004). O ambiente a qual foi depositado era predominantemente marinho raso, com águas calmas a ligeiramente agitadas por tempestades, com livre conexão com o oceano (LEITE; NASCIMENTO FILHO; SILVA JUNIOR, 1992).

4.3 FORMAÇÃO BARREIRAS

A Formação Barreiras compreende uma região do litoral brasileiro que se estende desde o Estado do Rio de Janeiro até o Estado do Amapá, em algumas regiões encontra-se interdigitada com a Formação Pirabas. Segundo Arai (2006), sua deposição pode ser dividida em duas etapas, a porção inferior foi depositada durante o Eomioceno (23 Ma) a Mesomioceno (13 Ma), no evento de subida global do nível do mar. No Tortonian, houve queda eustática resultando em um evento erosivo conhecido como Discordância Tortoniana (SHIMABUKURO; ARAI, 2000), este evento separa o Barreiras Inferior do Superior, a parte superior foi depositada durante o Plioceno. Os sedimentos do Barreiras são unicamente siliciclásticos (ROSSETTI *et al.*, 1989) e apresentam pouco conteúdo fossilífero.

As fácies observadas na Formação Barreiras são argilitos, depósitos com acamamento heterolítico, arenitos friáveis e quartzosos, maciços ou estratificados, com laminações cruzadas acanaladas, tabulares e sigmoidais. Os arenitos variam de fino a grosso, são bem selecionados e em maioria arredondados, sendo observáveis conglomerados de forma isolada. Nos depósitos heterolítico, há variação na deposição de arenito e argilito de espessuras diversas, podendo observar estruturas do tipo flaser e wavy-linsen. A influência de maré pode ser constatada nos depósitos arenosos, pois estes apresentam recobertos por filmes de argilas e/ou superfícies de reativação (ROSSETTI; GÓES, 2004).

4.4 SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS

A unidade Pós-Barreiras são sedimentos quaternários exclusivamente siliciclásticos, depositados sobre a Formação Barreiras. Segundo (ROSSETTI; GÓES, 2001; ROSSETTI *et al.*, 2001; ROSSETTI, 2004), a sedimentação ocorreu em duas etapas, recebendo a denominação Pós-Barreiras I e Pós-Barreiras II, sendo separadas por discordância erosiva. O Pós-Barreiras I, são areias finas a medias friáveis, maciças, com seleção moderada e registro de bioturbações localmente, pelitos bioturbados também são encontrados. As areias do Pós-Barreiras II são de muito finas a finas bem selecionadas, comumente maciças (ROSSETTI *et al.*, 1989 *apud* TATUMI *et al.*, 2008).

5 ASPECTOS FACIOLÓGICOS E ESTRATIGRÁFICOS

5.1 PRAIA DO ATALAIA, MUNICÍPIO DE SALINÓPOLIS

O perfil estratigráfico descrito nessa localidade possui cerca de 8m de altura (figura 2), sendo 6m identificados como Formação Pirabas e apresenta estruturas como:

- (1) na porção mais inferior da base, há ocorrência de uma fina camada de biocalcirudito coeso com a presença de fóssil de peixe-boi pontualmente, algumas dessas rochas expostas na praia apresentam mergulho relacionado com fraturamento aleatório;
- (2) sobre o biocalcirudito, deposita-se uma fina camada de biocalcilutito com presença de fósseis com carapaças;
- (3) a seguir observa-se um argilito laminado verde com presença de concreções de pirita, que em seguida há uma região não exposta devido à vegetação ou ação antrópica. Sobre esse trecho do perfil, volta a ser exibido argilito laminado verde, mas com a presença de fósseis de peixes;
- (4) por volta dos 3m do perfil, há a presença de marga com a ocorrência novamente de fósseis de peixes;
- (5) sobre a camada de marga, há deposição de argilito laminado verde e argilito negro com grande ocorrência de vegetais fossilizados como troncos e folhas, por vezes são encontrados com concreções de pirita, ainda há a presença do icnofóssil *Thalassinoides*;
- (6) após parte não exposta do perfil, há novamente a observação de biocalcirudito com variação de fósseis, que incluem grande quantidade de gastrópodes;
- (7) continuando o perfil, há não exposição sobre a camada de biocalcirudito e logo após se observa uma camada de argilito laminado cinza com a presença de fósseis de folhas piritizadas, além do fóssil *Palaeophicus*, encerrando então a observação da Formação Pirabas no Atalaia.

Pela análise de fácies na Praia do Atalaia, a deposição da Formação Pirabas ocorreu em ambiente de plataforma rasa e lagunar (ROSSETTI; GÓES, 2004).

As fácies observadas da Formação Barreiras são sequências rítmicas formadas por duas deposições de ritmitos wavy-linsen e outras duas de arenito ambas apresentando

mosqueamento, a sedimentação ocorreu em ambiente sob influência de maré (ROSSETTI; GÓES, 2004). Na Praia do Atalaia, município de Salinópolis, os Sedimentos Pós-Barreiras observados são sedimentos inconsolidados de quartzo oriundos das dunas existentes no local.

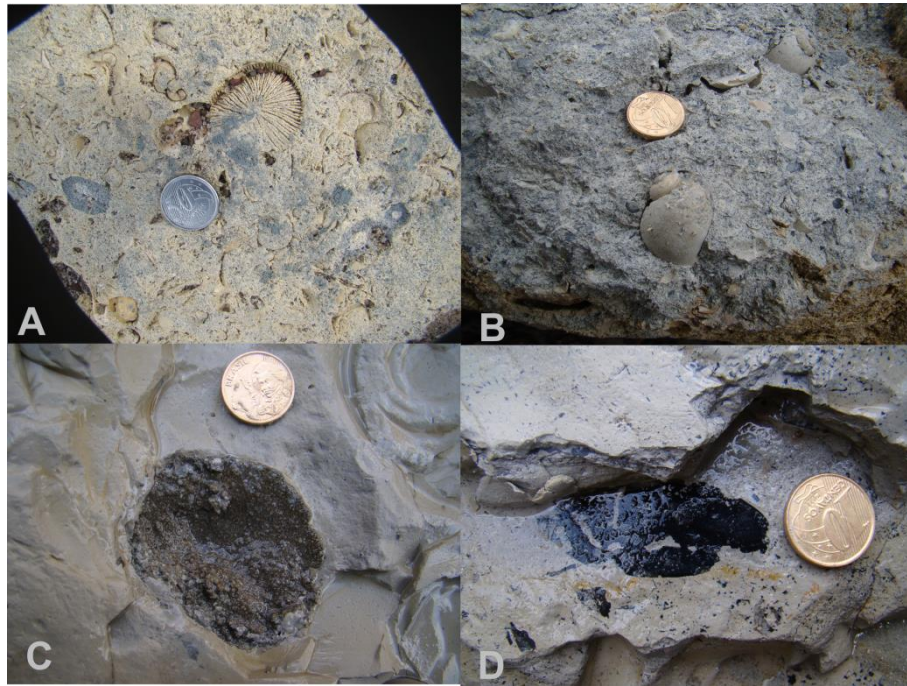
Segundo o trabalho de Rossetti (2003), há nessa região estruturas tectógenas como falhas e dobras que estão relacionadas ao falhamento *strike-slip* do Cretáceo Inferior, falhamento esse que originou o Atlântico Sul. Esse falhamento foi identificado usando a técnica do GPR.

Figura 2- Perfil estratigráfico da Praia do Atalaia, Município de Salinópolis. O limite entre a Formação Pirabas e a Formação Barreiras é marcada pela ocorrência do último banco carbonático a 5m da base do perfil.



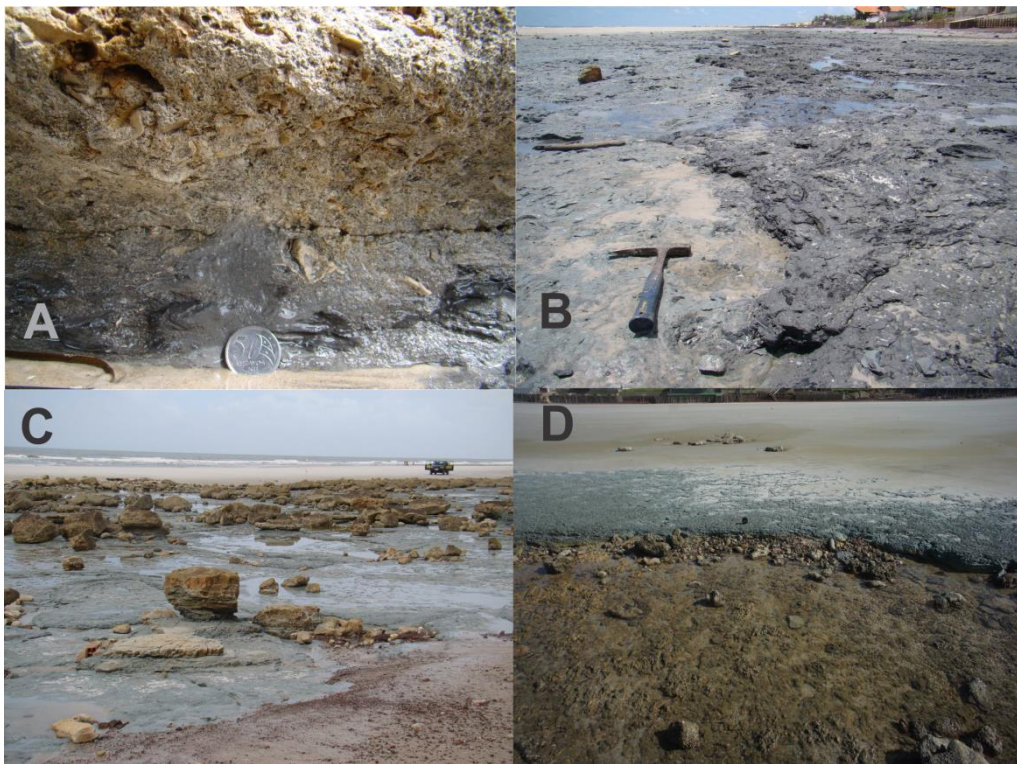
Fonte: Modificado de Aguilera *et al* (2014).

Figura 3- Fácies da Formação Pirabas. (A) e (B) Biocalciruditos com gastrópodes bem preservados. (C) Concreção de pirita em argilito verde intercalado aos carbonatos e (D) Tronco fossilizado (carbonizado) em argilito verde.



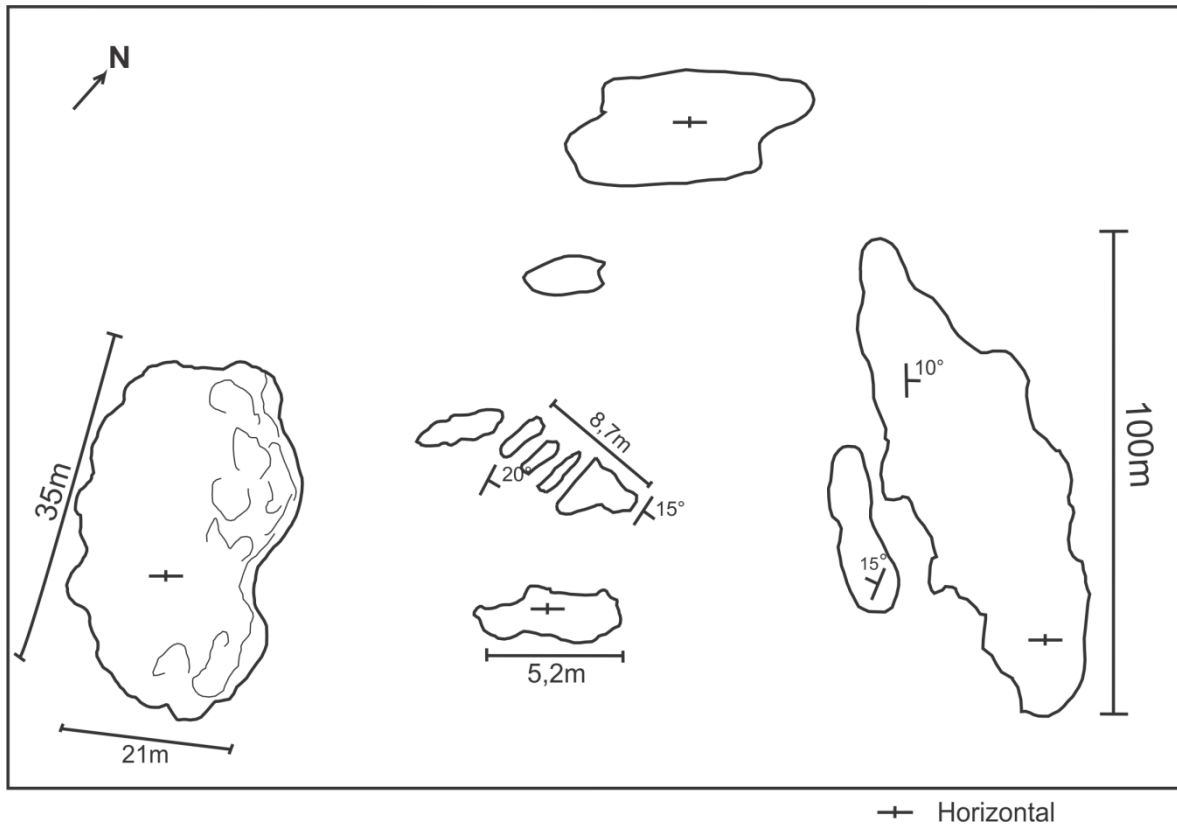
Fonte: Do Autor.

Figura 4- Contato entre diferentes fácies da Formação Pirabas. (A) Biocalcirudito coeso sobre argilito negro; (B) Contato entre argilito negro e argilito verde; (C) Margas sobre argilito e; (D) Sucessão de biocalcirudito, argilito negro e sedimentos arenosos recentes.



Fonte: Do Autor.

Figura 5- Disposição dos lajedos de rochas carbonáticas na Praia do Atalaia. Observar que os lajedos não apresentam orientação e os mergulhos são aleatórios e podem alcançar até 20°.



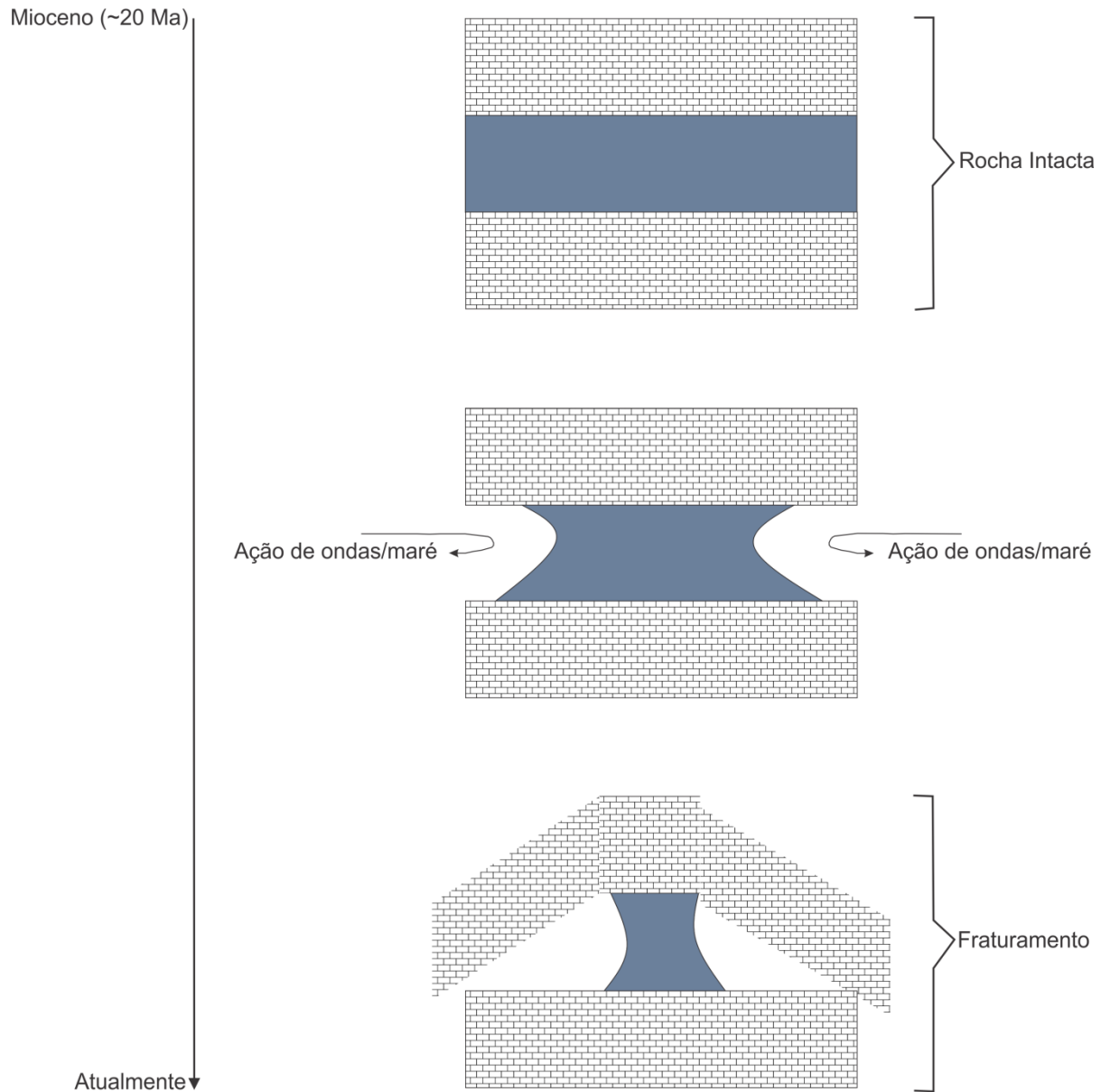
Fonte: Do Autor.

Figura 6- Rochas carbonáticas expostas na zona de arrebentação da Praia do Atalaia. Camadas mais litificadas fraturadas e inclinadas aleatoriamente.



Fonte: Do Autor.

Figura 7- Modelo esquemático para explicar as inclinações aleatórias das camadas de calcário da praia do Atalaia. Como mostrado no perfil estratigráfico, as camadas de calcário fortemente cimentadas se intercalam com argilitos (cor azul) que é suscetível a erosão pelas correntes de maré e ondas. A retirada do material mais fino gera instabilidades das camadas que se fraturam e se inclinam em direção ao solo sem uma orientação. Escala do perfil= 1m.



Fonte: Do Autor.

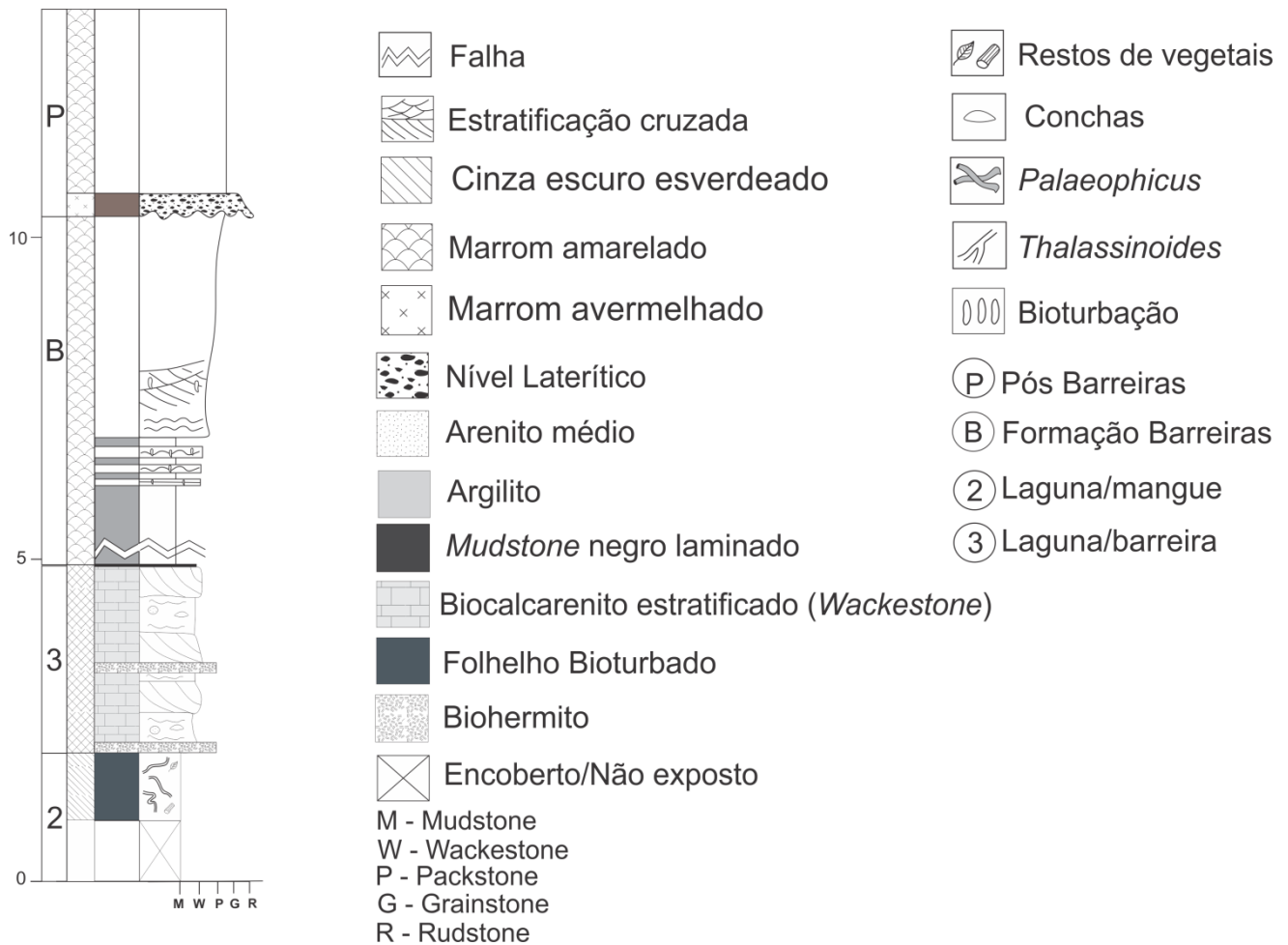
5.2 Vila de Aricuru, município de Maracanã

Nessa localidade, as Formações Pirabas e Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras ocorrem às margens do Rio Maracanã, sendo melhor observadas durante a maré baixa. O perfil estratigráfico da área possui cerca de 15m de altura (figura 8), com cerca de 6m para a Formação Pirabas. A partir dessa descrição, podem ser identificadas as seguintes estruturas da base para o topo do perfil:

- (1) no nível de base não há exposição do Pirabas, logo acima disso verifica-se a ocorrência de folhelho bioturbado, também se observa a presença de fósseis vegetais piritizados pontualmente;
- (2) em seguida, há a configuração rítmica formada por duas deposições de biohermito (*hardground* – Figura 9) e outras duas de biocalcarenito com estratificação cruzada e presença de fósseis de organismos com carapaças (figura 10 - A e B);
- (3) a camada de argilito sobreposta, apresenta uma descontinuidade vertical devido a uma falha estrutural, ou seja, confecção do perfil foi obtida em pontos distintos. Esta falha marca a descontinuidade entre as Formações Pirabas e Barreiras;
- (4) a Formação Barreiras neste perfil é constituída principalmente pela sequência rítmica de argilitos (figura 10 - C);
- (5) a transição entre a Formação Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras é marcado pelo nível laterítico.

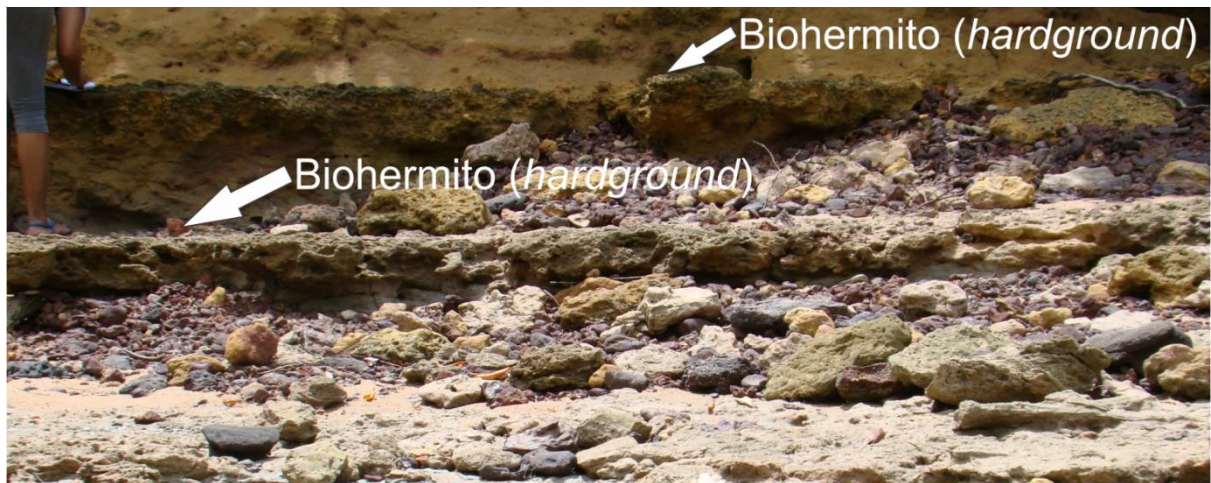
Com base na descrição das fácies do perfil estratigráfico, propõe-se que a Formação Pirabas na localidade de Aricuru foi depositada em ambiente marinho raso com desenvolvimento de lagunas próximo ao continente, enquanto que a Formação Barreiras em ambiente com ligação direta com o mar sob forte influência marinha e o Pós-Barreiras em ambiente de praia (LEITE; NASCIMENTO FILHO; SILVA JUNIOR, 1992). Na localidade, observa-se um nível laterítico como sendo característico do Pós-Barreiras, este nível é correlacionado com outros pontos da Plataforma Bragantina como Apeú-Castanhal e na Ilha do Outeiro na Região Metropolitana de Belém (ROSSETTI; GÓES, 2004).

Figura 8- Perfil estratigráfico composto do afloramento de Aricuru, Município de Maracanã. O limite entre a Formação Pirabas e a Formação Barreiras é feito por falha tectônica (convenção crenulada). Destaque para a presença de níveis endurecidos de biohermito ricos em briozoários e corais, interpretados como *hardgrounds*.



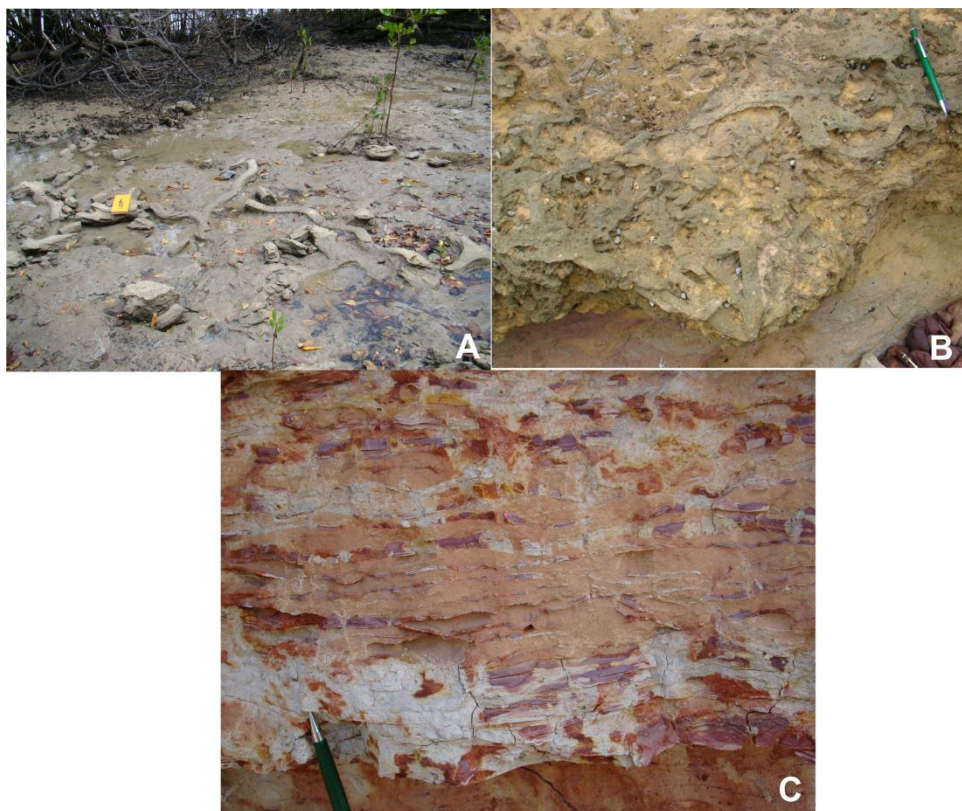
Fonte: Adaptado de Amorim (2014).

Figura 9- Afloramento da Vila de Aricuru, Maracanã. Níveis de biohermito se destacando sobre os biocalcarenitos.



Fonte: Adaptado de Amorim (2014).

Figura 10- Aspectos faciológicos de depósitos Neógenos da Vila de Aricuru, Maracanã . A) Marga com icnofósseis sinuosos; B) Biohermito com briozoário; C) Ritmito wavy-linsen da Formação Barreiras.



Fonte: Adaptado de Amorim (2014).

6 AQUISIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE PERFIS DE RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

6.1 Praia do Atalaia

Os estudos de GPR se concentram na aquisição de 07 (sete) seções de radargrama, na Praia do Atalaia nordeste do Estado do Pará. Cinco seções (1-5) foram realizadas na Avenida A, paralela à linha de costa e duas na praia (6-7), próxima a linha de arrebentação (figura 11). Os perfis adquiridos na Avenida A possuem orientação SW-NE com tempo de amostragem de 120 ns, já na praia a aquisição foi feita da seguinte forma: (1) o perfil 06 (seis) possui orientação NW-SE e usou janela de 100ns e (2) o perfil 07 (sete) está orientado em NE-SW e foi registrado com duas janelas 100 ns e 80 ns. O análise de velocidade da onda eletromagnética foi feita por ajuste hiperbólico e pode ser visualizada do próprio perfil processado. Não foi realizada nenhuma correção topográfica, pois a localidade não apresentava variações a serem consideradas.

Os dados obtidos na areia da praia (figura 12-direta), não apresentaram resultados satisfatórios visto que a onda eletromagnética emitida possui pouca penetração em ambiente com alta concentração salina (JOL, 2009), caso onde a aquisição dos perfis 6 e 7 foram realizadas. Os demais perfis apresentaram bons padrões de reflexão e alcançaram profundidade de aproximadamente 5m.

Figura 11- Localização dos perfis de GPR adquiridos na Praia do Atalaia.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

Figura 12- Aquisição de imageamento por GPR realizada na Praia do Atalaia tanto na via (esquerda) quanto na zona de arrebentação (direita).



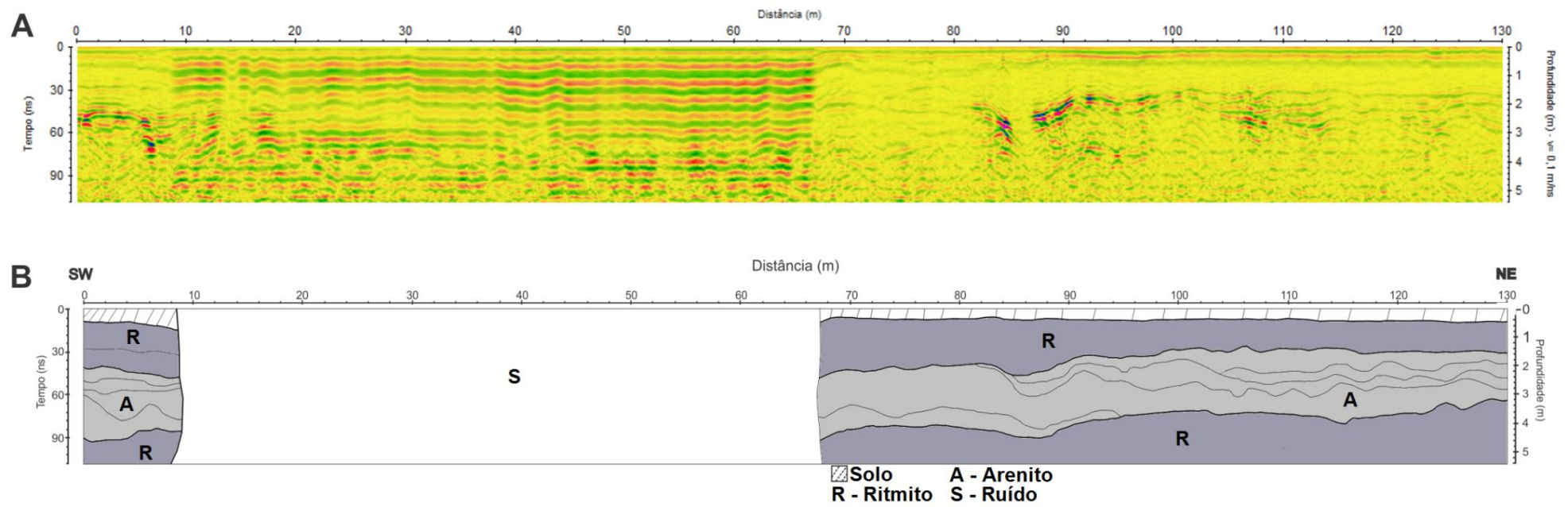
Fonte: Do Autor.

O fato de a onda eletromagnética ser pouco penetrativa em ambiente salino pode ter contribuído para que a profundidade alcançasse 5m, mesmo após o processamento dos dados e análise de velocidade do meio investigado. A velocidade da onda eletromagnética usada pode ser visualizada na escala vertical da direita no perfil processado e a devida interpretação logo abaixo, essas informações são mostradas nas figuras de 13 à 18.

A profundidade de investigação alcançada neste trabalho de conclusão de curso, não foi a mesma obtida por (ROSSETTI *et al*, 2001; ROSSETTI, 2003), muito embora a metodologia aplicada em ambos os trabalhos sejam praticamente iguais. Não foi possível identificar, portanto, a Formação Pirabas, muito menos qualquer indicio de atividade tectógenas naquela região, mas a análise de subsuperfície conseguiu imagear com boa resolução parte da Formação Barreiras.

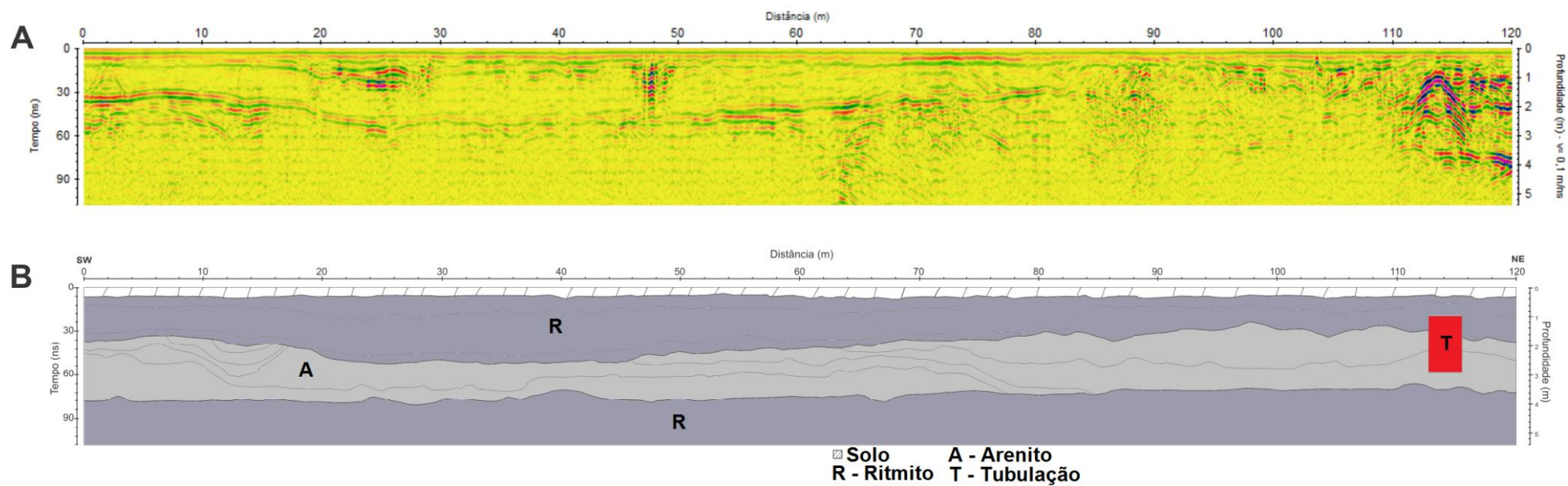
No perfil 1 (figura 12-esquerdo e figura 13), é possível identificar uma camada de arenito (A) entre duas camadas de ritmito (R), sendo essas coerentes em espessura com o perfil de afloramento. A faixa em branco de aproximadamente 55 m, diz respeito a múltiplas reflexões provocadas por pavimentação de concreto, logo não é possível o imageamento desse trecho do levantamento. A deposição sedimentar nesta seção se deu em local horizontal a sub-horizontal visto que as reflexões tende a ser horizontais, com suprimento sedimentar predominantemente siliciclásticos, em ambiente influenciado por maré.

Figura 13- perfil 1 da Praia do Atalaia após processado, figura 13-A a escala vertical da direita mostra a velocidade usada. Figura13-B: Interpretação da primeira seção, mostrando a diferença entre as litologias pela variação de cores e sendo a parte hachurada o calçamento, **R** ritmito, **A** arenito e **S** ruído.



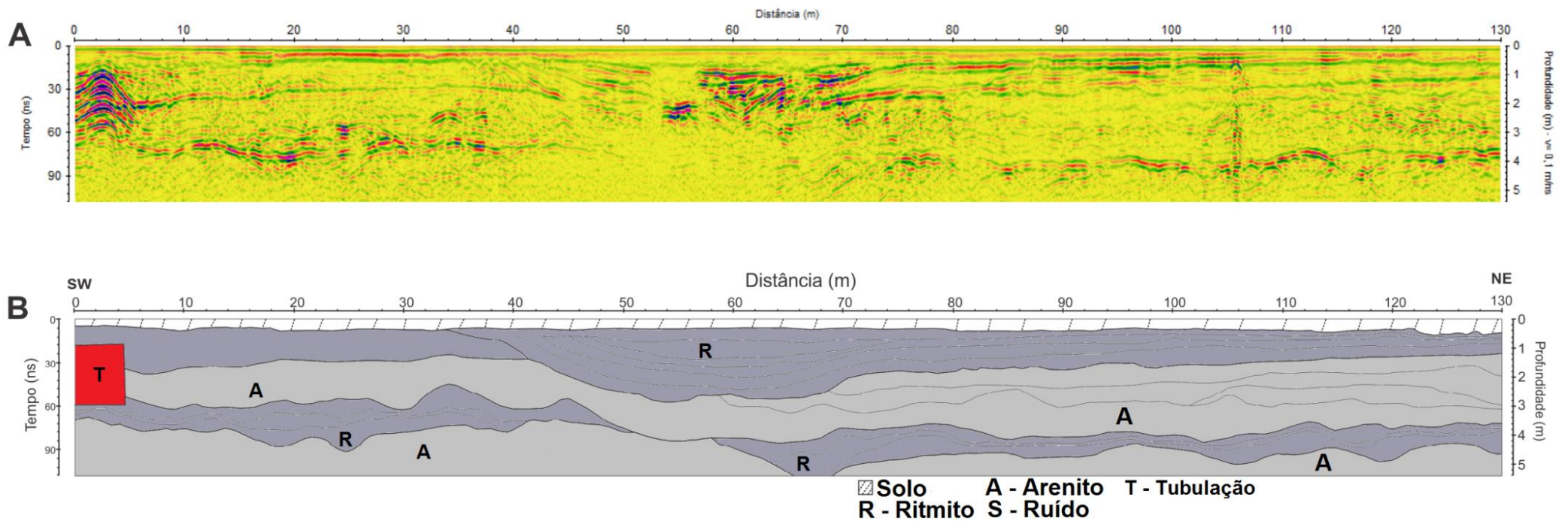
Fonte: Do Autor.

Figura 14- Seção 2 processada (figura 14-A), continuação do perfil anterior. Interpretação litológica (figura14-B), mantendo o mesmo padrão de cores e legenda da seção anterior.



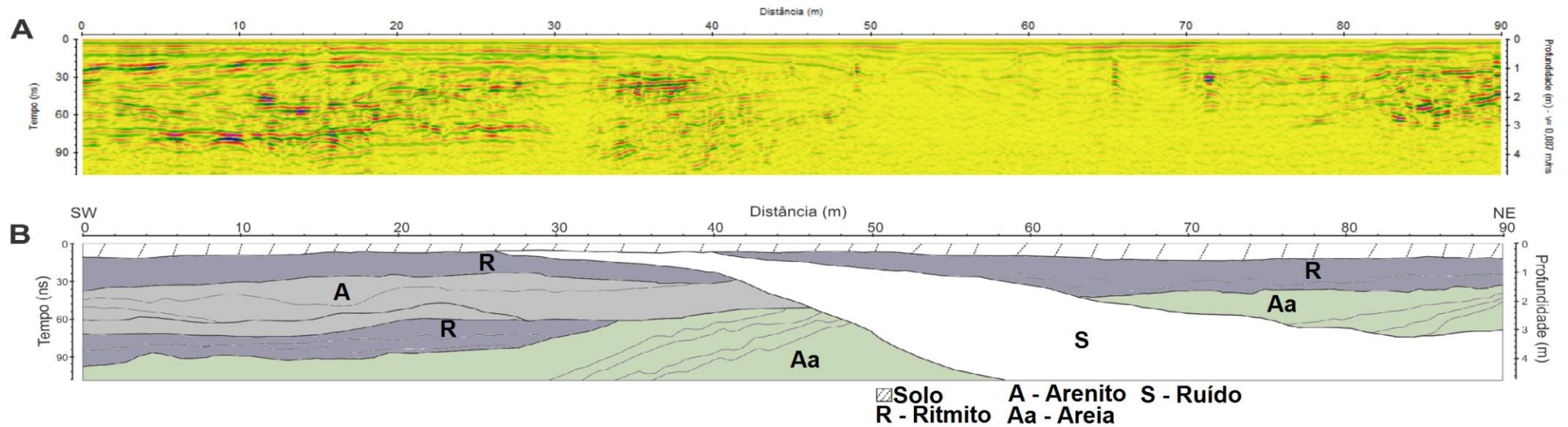
Fonte: Do Autor.

Figura 15- Seção 3 processada (figura 15-A) com reamostragem do final da seção anterior. Interpretação da seção 3 (figura 15-B), mostrando alguns padrões de reflexão típicos da Formação Barreiras.



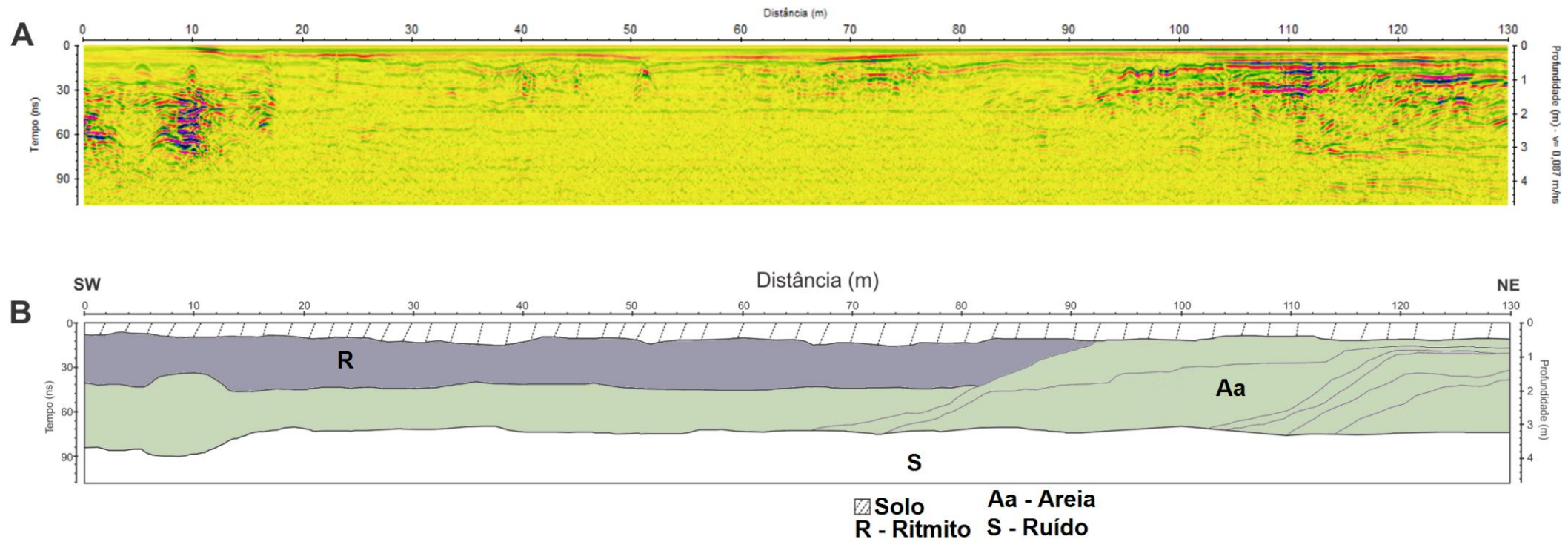
Fonte: Do Autor.

Figura 16- Seção 4 processada (figura 16-A), continuação lateral do levantamento, já é possível observar que o ruído torna-se cada vez mais significativo. Interpretação da seção 4 (figura 16-B) pode-se observar maior contaminação do dado por ruído devido à presença salina no ambiente.



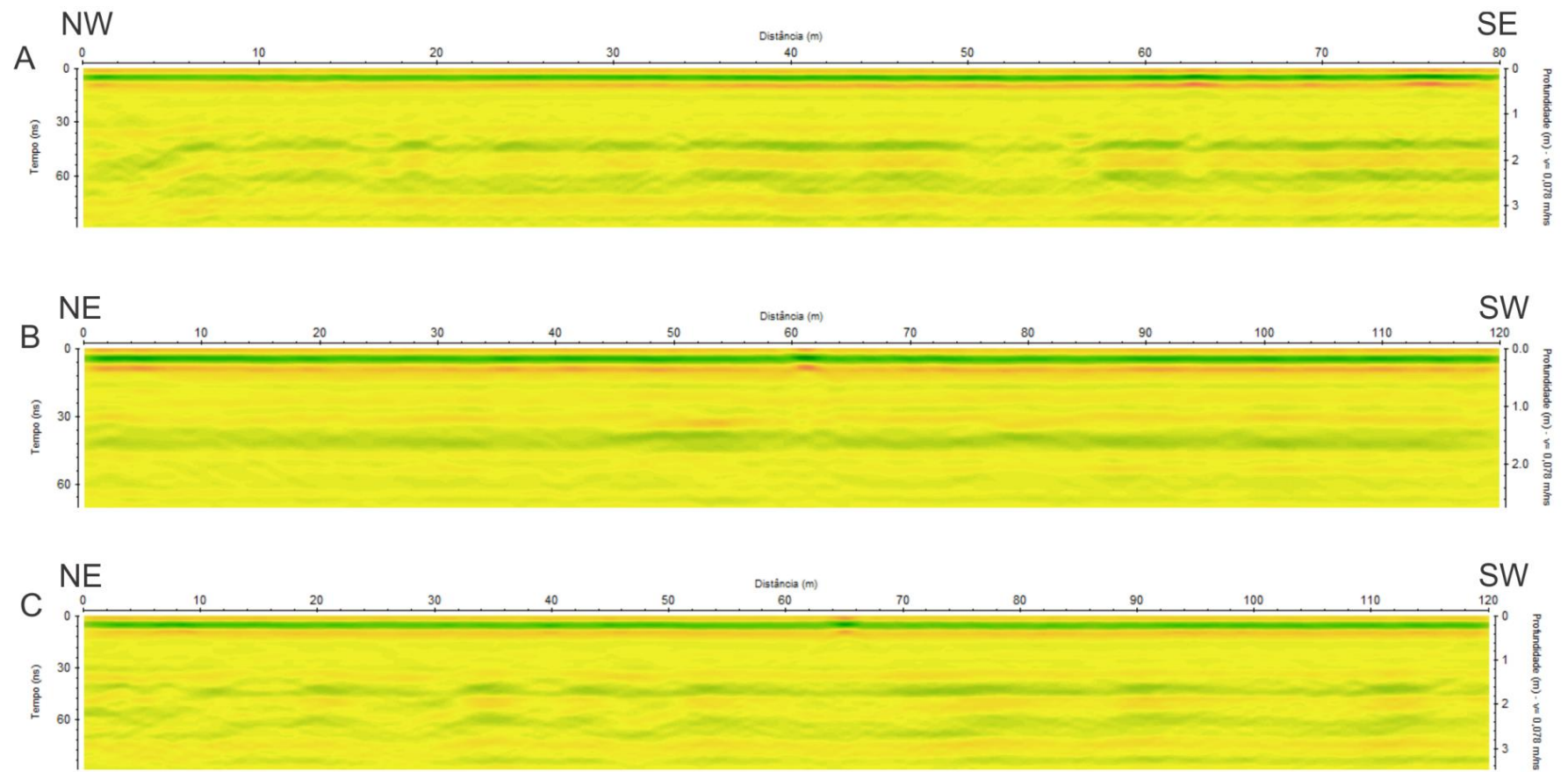
Fonte: Do Autor.

Figura 17- Seção 5 processada (figura 17-A), não é continuação lateral das demais seções. A presença de ruído é ainda mais acentuada. Interpretação da seção 5 (figura 17-B), devido a concentração salina a onda eletromagnética não foi tão penetrativa quanto nas demais seções adquiridas.



Fonte: Do Autor.

Figura 18- Seções obtidas na zona de arrebentação da Praia do Atalaia. (A) seção 6 com janela de tempo de 120 ns, (B) seção 7 com janela de tempo de 80 ns e (C) seção 7 usando janela de 100 ns.



O perfil 2 é continuação lateral do perfil anterior, neste se pode visualizar ainda as camadas de ritmitos (R) e arenito (A), o bloco em vermelho representa reflexões causadas, possivelmente, por rede de esgoto ou água (T) na localidade. A camada de ritmito apresenta deposição plano horizontal, já na camada de arenito há presença de reflexões ondulante e divergentes, as ondulantes são de possíveis paleocanais de pequena extensão e profundidade, as reflexões divergentes são do tipo downlap de baixo ângulo, caracterizando ambiente levemente acidentado.

O início do perfil 3 é a reamostragem do anterior, logo a reflexão hiperbólica está presente novamente nesta seção. Neste perfil já nota-se a presença de paleocanal mais extenso e com maior profundidade no primeiro estrato de ritmito, as curvas acentuadas são devido à mudança de direção do agente de transporte, que provavelmente é um canal fluvial com influência de maré. Este tipo de canal é característico da Formação Barreiras, que teve sua deposição em ambiente estuarino com ação de marés (Rossetti e Góes, 2004).

No perfil 4, se observa diminuição da profundidade de investigação, com o acunhamento da segunda camada de ritmito, diminuição da espessura de arenito e a presença da Unidade Siliciclástica representada pelas dunas com estratos cruzados (Aa). A extensa e profunda região assinalada na cor branca (S) é devido ao alto nível de ruído provocado, possivelmente, pela percolação de água salobra nos estratos em subsuperfície pela ação das ondas e subida da maré.

No perfil 5, há o aumento de ruído pela presença salina e consequentemente diminuição da profundidade investigada, resultando em menos acamamentos identificáveis. A camada de ritmito trunca-se contra os estratos das unidades recentes, esta última apresenta maior número de estratos cruzados. A via onde esta seção está localizada, foi toda pavimentada sobre as dunas de sedimentos recentes, em virtude disso foi detectada a maior presença dessas camadas.

As seções (6 e 7) adquiridas na zona de arrebentação da Praia do Atalaia (figura 18), não apresentaram resultados satisfatórios, pois a alta concentração salina da área dissipou grande parte da energia da onda incidida, impossibilitando a identificação de qualquer tipo de litologia ocorrente na área.

O GPR mapeou com boa resolução os primeiros metros da Formação Barreiras, os estratos identificados com o radar são compatíveis com a descrição de afloramento que

apresenta sequência rítmica de arenitos e ritmitos no topo desta Unidade Siliciclástica. Porém as camadas carbonáticas não foram identificadas usando esse método na Praia do Atalaia, pois a região apresenta grande concentração de água salobra.

6.2 VILA DE ARICURU, MARACANÃ

Na localidade de Aricuru-Maracanã, foram coletadas apenas duas seções de radargrama. A aquisição de dados foi feita em uma pequena rua paralela ao Rio Maracanã (figura 19), passando próximo de onde foi confeccionado o perfil estratigráfico da área. As duas seções obtidas possuem orientação SE-NW, cada uma possui 120m de comprimento e marcações feitas a cada 10m. Foram adquiridas usando antena monostática blindada de 200 MHz com janela de tempo de 100 ns. A análise de velocidade usada foi por ajuste hiperbólico, que pode se visualizada no perfil processado na escala vertical da direita. A localização dos perfis GPR, assim como do perfil estratigráfico, pode ser observada na figura 20.

Na localidade de Aricuru-Maracanã, Nordeste do Estado do Pará, o método de investigação rasa conseguiu obter bons resultados quanto ao imageamento da Formação Pirabas. Devido à ação intempélica, a Formação Barreiras não se encontrava em camadas tão espessas na via onde o levantamento usando o GPR foi realizado, contribuindo para o sucesso do imageamento da sucessão carbonática da região do Salgado paraense.

Figura 19- Aquisição realizada na via paralela a linha de costa. Observar a topografia acidentada da via principal de Aricuru.



Fonte: Do Autor.

Figura 20- Localização do perfil estratigráfico e das seções adquiridas em Aricuru-Maracanã.

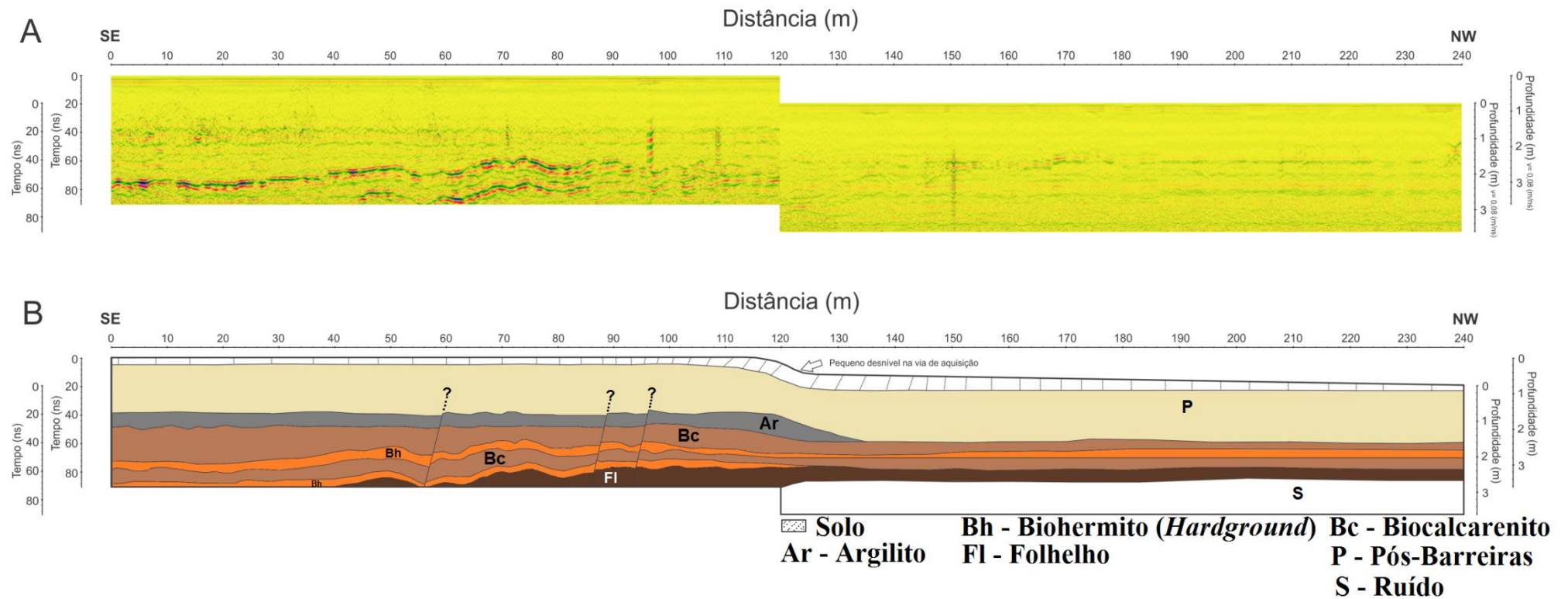


Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

O imageamento foi bem sucedido em acamamentos bastante coesos, essas camadas obtiveram bons padrões de reflexão, o que é o caso de biohermitos (*hardgrounds*), após o processamento os horizontes referentes a essas camadas ficaram bem realçados. Os pontos onde continham concentração de sedimentos inconsolidados (Pós-Barreiras) e/ou infiltração de água salobra do Rio Maracanã apresentaram perda considerável do sinal da onda eletromagnética, mas esse fator não atrapalhou o sucesso da aquisição com GPR.

A via onde ocorreu a aquisição das seções radargrama, apresentava um pequeno desnível topográfico, cerca de 80 cm de diferença do ponto mais baixo ao mais alto. Essa diferença foi corrigida reposicionando as seções lado a lado e inserindo essa diferença topográfica, caso essa correção não fosse realizada a interpretação da subsuperfície da região seria errônea. Os dados de GPR dessa localidade e sua devida interpretação são mostrados na figura 21 a seguir.

Figura 21- Seções processadas da área de Aricuru (figura 21-A), apresentam pequeno desnível topográfico que foi corrigido reposicionando considerando essa diferença. (B) Interpretação dos dados adquiridos em Aricuru. A Formação Pirabas foi imageada com bom realce dos hardgrounds (Bh), além de outras litologias dessa Formação.



Fonte: Do Autor.

A investigação empregada nessa região alcançou a profundidade de aproximadamente 3,5 metros, inferior a profundidade obtida em Salinas, mas o suficiente para evidenciar a Formação Pirabas, sendo correlatas as seções de GPR com os dados descritos em afloramento.

A primeira zona de reflexão possui cerca de 25 cm, hachurada, refere-se ao calçamento da via feita por barro/piçarra que se estende por boa parte da localidade, muitas vezes a via é pavimentada por areia que são sedimentos recentes. Esse padrão de reflexão não fornece qualquer tipo de informação sobre o Pirabas.

O segundo horizonte, possui aproximadamente 1,2 m de espessura e corresponde aos sedimentos Pós-Barreiras (P), é possível verificar na seção processada que essa litologia não apresenta reflexão com bom realce, porém a constatação de que esse trecho corresponde aos sedimentos Pós-Barreiras é dada pelo perfil estratigráfico da área.

Uma camada de argilito (Ar), de aproximadamente 40 cm, foi identificada através do padrão de reflexão horizontal, que pode ter sido depositada em ambiente com pouca irregularidade topográfica. Nota-se que esta camada é truncada pelos sedimentos Pós-Barreiras, esse truncamento pode ter dois motivos de causa: (1) há realmente o acunhamento desta camada e (2) a reflexão devido ao argilito foi perdida devido a contaminação de ruído provocada pelos sedimentos Pós-Barreiras.

Sob a camada de argilito, há uma sequência rítmica entre espessas camadas de biocalcarenitos (Bc) e camadas mais delgadas de biohermitos (Bh), algumas dessa se estendem por toda a área investigada, outras não é possível constatar a sua continuidade lateral devido ao nível acentuado de ruído, ou por não serem continuas lateralmente. A camada de biocalcarenito citada é correlata com a descrição baseada no perfil estratigráfico.

As melhores reflexões observadas nessa região estudada são dos acamamentos de biohermito (*hardground*), esse tipo de sedimentação ocorre devido a proliferação intensa de organismos como briozoários e outros indivíduos com carapaças, fazendo com que o sedimento formado seja bastante coeso e apresente uma boa resposta à incidência da onda eletromagnética. As camadas de *hardground* foram caracterizadas, neste trabalho, como horizontes guias para reflexões da Formação Pirabas, visto que a resposta a incidência da onda eletromagnética foi bem realçada nesse acamamento.

A partir das seções radargrama, foi possível a identificação de zonas de reativação do falhamento desenvolvido no Cretáceo Inferior observadas por (LEITE; NASCIMENTO

FILHO; SILVA JÚNIOR, 1992). Esse tectonismo registrado na seção de GPR trata-se de pequenas falhas normais com pouco rejeito, preenchidas por argila possivelmente e com atitude quase vertical. Essa falha ocorre por volta de 3m de profundidade, ela é bem evidenciada nas camadas de biohermitos que são deslocadas e por inferência pode-se estender o plano de falha até o acamamento de argilito, final da Formação Pirabas, pois essa atividade não se deu de forma pontual. A atividade tectônica nessa localidade é posterior a deposição do Pirabas, então tal movimento pode ter contribuído para a exposição dessas rochas. Possivelmente, esta falha pode se estender até o Pós-Barreiras, mas nada foi detectado nas seções obtidas.

Após a sequência rítmica de biocalcarenito e biohermito, na parte mais inferior da seção, há uma camada delgada de folhelho (Fl) que se estende por grande parte da área, logo abaixo dessa camada, não é possível observar mais nenhum tipo de litologia. A perda de energia nesse trecho pode ter sido causada pela presença de água salobra, infiltrada a partir do Rio Maracanã, inferidas a partir das observações de campo.

7 CONCLUSÕES

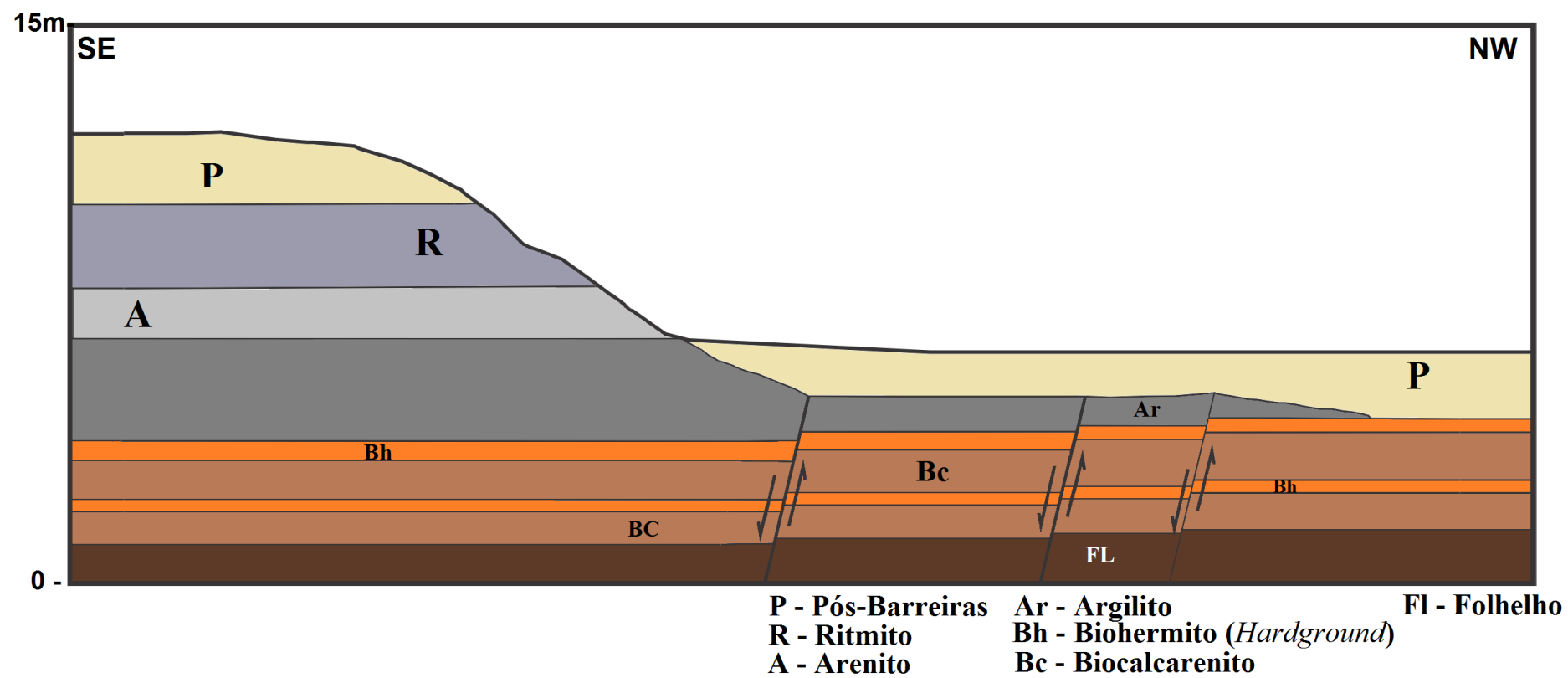
Embora apresente limitações quanto à profundidade de investigação e a fácil contaminação por ruído, o uso do Radar de Penetração no Solo (GPR), mostrou ser uma ferramenta eficiente para o imageamento de estratos geológicos em subsuperfície rasa, reconhecimento de paleocanais, identificação de objetos enterrados por ação antrópica e detecção de estruturas tectógenas próximas a superfície. Por usar frequência muito alta, se comparado com outros métodos geofísicos, o GPR não alcança altas profundidades de investigação, porém a resolução dos estratos identificados é muito boa.

A técnica do GPR obteve bom resultados na Vila de Aricuru no Município de Maracanã, a identificação da Formação Pirabas ocorreu de forma satisfatória, com a caracterização dos *hardgrounds* como horizonte guia para o reconhecimento desta formação a partir de seções radargramas. A contribuição para a literatura acerca do Pirabas fica por conta da visualização de zonas de reativação tectônica descritas por (LEITE; NASCIMENTO FILHO; SILVA JUNIOR, 1992), porém foram identificadas apenas falhas normais de pequeno porte e com pouco rejeito, as demais estruturas citadas por aqueles autores não foram identificadas. A figura 22 mostra o modelo esquemático da disposição das camadas sedimentares na Vila de Aricuru-Maracanã.

Na Praia do Atalaia apenas na Formação Barreiras foi detectada paleocanais característicos usando radar de penetração no solo. Além disso, o método mostrou ser capaz de identificar tubulações da área. A Formação Pirabas não pôde ser imageada nesta última localidade, devido ao alto nível de ruído provocado pela presença salina na área. Mesmo usando a mesma metodologia de não foi identificada qualquer estrutura de caráter tectônico nessa área. Utilizando dados de afloramento pode-se inserir uma breve discussão para tal estrutura visualizada pelo autor citado. As fraturas encontradas nas camadas e blocos inclinados distribuídos na praia são produtos da erosão diferencial entre litotipos finos e carbonatos.

Para uma comprovação mais consistente dos contatos e diferentes contrastes reológicos, a aquisição deverá ser realizada de forma transversal aos perfis realizados neste trabalho e com antena de menor frequência, pois assim aumentaria a profundidade do imageamento e aumentaria a resolução para melhor identificar as camadas da Formação Pirabas.

Figura 22- Modelo esquemático da disposição das Formações Barreira e Pirabas e dos Sedimentos Pós-Barreiras na Vila de Aricuru-Maracanã.



Fonte: Do Autor.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, O. A.; SCHWARZHANS, W.; MORAES-SANTOS, H. ; COSTA, S.; NEPOMUCENO, A. Before the flood: Miocene otoliths from eastern Amazon Pirabas Formation reveal a Caribbean-type fish fauna. *Journal of South American Earth Sciences*, 2014. v. 56, p. 422-446.
- AMORIM, K. Paleoambiente, Paleogeografia e isótopos de carbono e oxigênio de depósitos carbonáticos miocenos da Plataforma Bragantina, Nordeste do estado do Pará, 2014. *Trabalho de qualificação de Doutorado* – Universidade Federal do Pará, Belém, 2014 (No prelo).
- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1988. v. 2. p. 738-752.
- ARAI M. A Grande elevação eustática do mioceno: a verdadeira origem do Grupo Barreiras. *Geol. USP, Sér. Cient.* [on line]. 2006, v.6, n.2, pp. 1-6. ISSN 1519-874X.
- AZEVEDO, R.P. Tectonic evolution of Brazilian Equatorial Continental margin basins. 1991. 455f. *Tese (Doutorado)* - Royal School of Mines Imperial College, London, 1991.
- FERREIRA, C.S. Características lito-paleontológicas na Formação Pirabas, estado do Pará. In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA DAS GUIANAS, 6., 1966, Belém. *Anais...* Belém: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1966. v. 6, p.101-111.
- GÓES, A.M. *Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecurú, no Nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão*. 1981. 55f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1981.
- GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P.M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no Nordeste do estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* .Série Ciências da Terra, v. 2, p. 3-15. 1990.
- JOL, H.M. *Ground Penetration Radar theory and applications*. Local:Amsterdam, The Netherlands. Elsevier Science, 1ed., 2009. 543p.
- Leite, A. A. S.; Nascimento Filho, R. L. G.; Silva Júnior, R. O., 1992. Mapeamento Geológico do Município de Maracanã, Nordeste do Estado do Pará. *Estágio de Campo III, Cento de Geociências*, Universidade Federal do Pará, p.143, 1992 .
- LOCALIZAÇÃO dos perfis de GPR adquiridos na Praia do Atalaia. Disponível em: <<https://earth.google.com>>. Acesso em 07/06/2014.
- LOCALIZAÇÃO do perfil estratigráfico e das seções adquiridas em Aricuru-Maracanã. Disponível em: <<https://earth.google.com>>. Acesso em 27/11/2014
- Petri, S. Foraminíferos fósseis da Bacia de Marajó. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia)*, v.134, p.1-172, 1957.
- Petri, S. 1957. Foraminíferos Miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (Geologia)*, v.216, n.16, p.1-172, 1957.

ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M.. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)*, v.1, p.25-74, 1989.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. A influência marinha nos sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra)*, v.2, p.17-29. 1990.

ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M.; SOUZA, L.S.B. Estratigrafia da sucessão sedimentar pós-barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. *Brazilian Journal of Geophysics*, v. 19, n.2, p.115-130, 2001.

ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic sedimentary in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea-level changes. *Journal of South America Earth Science*, v.14, n.1, p.77-89, 2001.

ROSSETTI, D. F.; Góes, A. M. Imaging Upper Tertiary to Quaternary deposits from northern Brazil applying ground penetrating radar. *Rev. Bras. Geoc.*, v.31, n.2, p.195-202, 2001.

ROSSETTI, D.F. Delineating shallow Neogene deformation structures in northeastern Pará State using Ground Penetrating Radar. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.75, n. 2, p. 235-248. 2003.

ROSSETTI, D.F. Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products. *Sedimentary Geology*, v.169, n.3-4, p.151-174, 2004.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A.M. Geologia. In: ROSSETTI, D.F. ; GÓES, A.M. (eds) *O Neógeno na Amazônia Oriental*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. (Coleção Friederich Katzer).

ROSSETTI, D.F. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. *Revista do Instituto de Geociências-USP* v.6, n.2, p. 7-18. 2006.

SHIMABUKURO, S.; ARAI, M.. The Tortonian unconformity: its relation to the stratigraphic framework of the Barreiras Group (Brazilian coastal Cenozoic deposits). In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31th., 2000, Rio de Janeiro, Brazil. *Abstracts volume*. Rio de Janeiro, Brazil: SBG, 2000. (Poster Section).

TATUMI, S. H.; SILVA, L. P.; PIRES, E. L.; ROSSETTI, D.F.; GÓES, A. M.; MUNITA, C. S. Datação de sedimentos pós-barreiras no Norte do Brasil: implicações paleogeográficas. *Revista Brasileira de Geociências*, v.38, n.3, p. 514-524, set. 2008.