



## RESUMO DO PRH 06

|  |    |
|--|----|
| ANÁLISE DE DADOS DOS MCSEM ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL DOS POTENCIAIS ELETROMAGNÉTICOS UTILIZANDO O MÉTODO DE DIFERENÇAS FINITAS..... | 10 |
| Diego C. Miranda, Allen Q. Howard Jr.....  | 10 |
| CARACTERIZAÇÃO DA POROSIDADE SECUNDÁRIA EM ZONAS DE FALHA NO GRANITO TRACUATEUA, NORDESTE PARAENSE.....                                      | 12 |
| Flora Feitosa Menezes, Roberto Vizeu Lima Pinheiro, Erb Ferreira Lins .....  | 12 |
| O SISTEMA PETROLÍFERO MESODEVONIANO-EOCARBONÍFERO NA BORDA LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, REGIÃO DE PIMENTEIRAS E PICOS (PI)..                  | 14 |
| Roberto Cesar de Mendonça Barbosa, Afonso César Rodrigues Nogueira .....   | 14 |



## ANÁLISE DE DADOS DOS MCSEM ATRAVÉS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL DOS POTENCIAIS ELETROMAGNÉTICOS UTILIZANDO O MÉTODO DE DIFERENÇAS FINITAS

Diego C. Miranda<sup>1</sup>, Allen Q. Howard Jr.<sup>2</sup>

Bolsista PRH-06 ANP, [dmiranda@ufpa.br](mailto:dmiranda@ufpa.br), <sup>1</sup>Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, <sup>2</sup>Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará

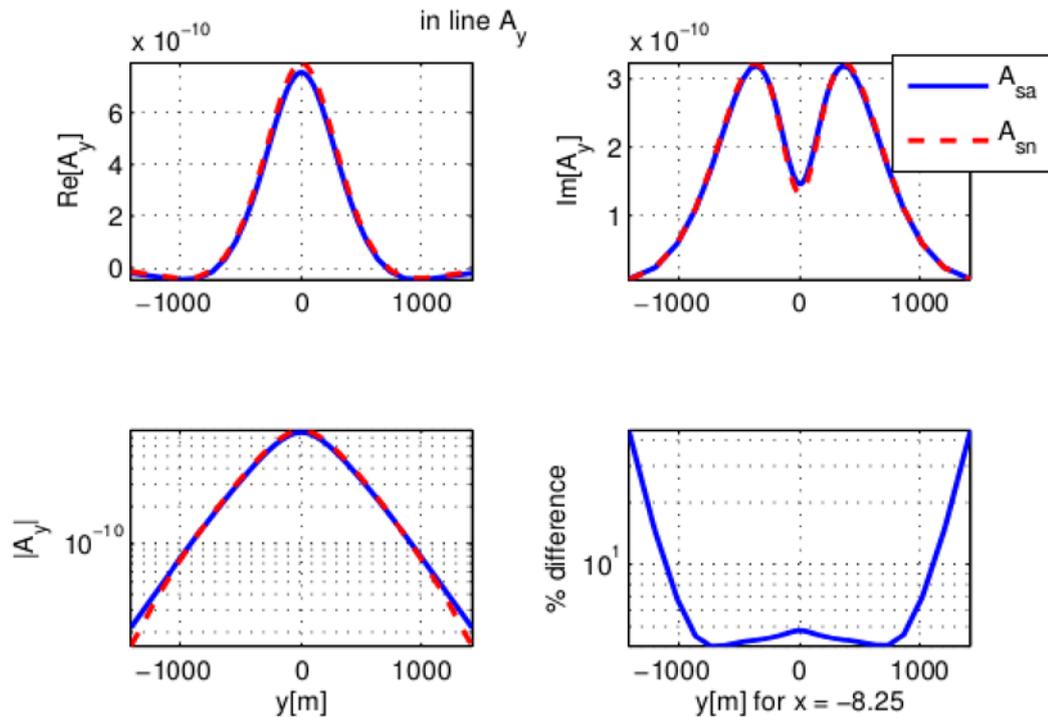
**MOTIVAÇÃO/DESAFIOS:** Entre os métodos eletromagnéticos de exploração geofísica, o marine controlled-source electromagnetic (mCSEM) tem recebido uma atenção especial por ter se mostrado uma promissora ferramenta para a exploração e mapeamento offshore de hidrocarbonetos. Apesar de ser um método considerado relativamente novo quando comparado com outros métodos geofísicos, muito já se pode encontrar na literatura sobre o tema. Trabalhos recentes abordam com atenção vários aspectos envolvidos no mCSEM, como em Constable & Srnka, 2007, que fornece informações sobre levantamentos iniciais utilizando o mCSEM e como os dados obtidos serviram para a diminuição do risco exploratório. Trabalhos mais técnicos como os de Andréis & Macgregor (2007) e Mulder et al. (2008) comparam e descrevem certos aspectos da modelagem computacional como por exemplo a difusão do campo eletromagnético vista no domínio do tempo ou no domínio da frequência, e em Strack et al. (2008) são mencionadas as novas tecnologias para prospecção eletromagnética marinha assim como levantamentos recentes realizados pela indústria. Esta pesquisa trata das questões numéricas envolvendo o cálculo dos campos eletromagnéticos relacionados ao mCSEM, buscando a elaboração de algoritmos eficientes que nos permitam obter soluções satisfatórias independente da configuração do modelo geológico.

### OBJETIVO:

- Elaborar a formulação para a modelagem do mCSEM em ambientes geológicos 2D/2D.
- Calcular o campo eletromagnético a partir dos potenciais escalar e vetor vinculados às componentes elétrica e magnética respectivamente utilizando o método de Diferenças Finitas no domínio da frequência quando na presença ou não de estruturas que representem reservatórios de hidrocarbonetos em ambientes 2D/2D.

**APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO:** A modelagem computacional de dados geofísicos é uma etapa importante no processo de exploração. Consiste na simulação computacional do procedimento exploratório e dos ambientes geológicos dos quais se desejam informações. Ela permite a avaliação prévia da viabilidade de exploração de um determinado terreno ou modelo geológico, indicando as melhores condições para os levantamentos geofísicos.

**RESULTADOS OBTIDOS:** Abaixo temos o resultado numérico obtido para a componente in line  $A_y$  do potencial vetor magnético comparado com a sua respectiva solução analítica, calculado em um modelo com dois meios condutivos heterogêneos o qual foi energizado por um dipolo elétrico horizontal, que constitui a fonte eletromagnética mais comum nos levantamentos do mCSEM.



Os dois gráficos do topo mostram as componentes real e imaginária do potencial secundário. Notamos que os resultados são bastante aproximados, o que pode ser melhor diagnosticado através dos dois gráficos inferiores, os quais mostram a magnitude do potencial e o erro relativo entre os dois resultados respectivamente. Os resultados acima apresentados são boas evidências de que o nosso programa está calibrado e a nossa metodologia pronta para ser testada em problemas com simetrias mais complexas.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos à Petrobras e à ANP pelo suporte dado nessa pesquisa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Andréis, D. & Macgregor, L. 2007. Time domain versus frequency domain csem in shallow water. SEG/San Antonio 2007 Annual Meeting. Expanded Abstract p. 643.
- Constable, S. & Srnka, L. J. 2007. An introduction to marine controlled-source electromagnetic methods for hydrocarbon exploration. Geophysics 72, WA3-WA12.
- Mulder, W. A., Wirianto, M., & Slob, E. C. 2008. Time-domain modeling of electromagnetic diffusion with a frequency-domain code. Geophysics 73, F1-F8.
- Strack, K., Allegar, N., & Ellingsrud, S. 2008. Marine time domain csem: an emerging technology. SEG Las Vegas 2008 Annual Meeting. Expanded Abstract p. 653.

## CARACTERIZAÇÃO DA POROSIDADE SECUNDÁRIA EM ZONAS DE FALHA NO GRANITO TRACUATEUA, NORDESTE PARAENSE.

Flora Feitosa Menezes<sup>1</sup>, Roberto Vizeu Lima Pinheiro<sup>2</sup>, Erb Ferreira Lins<sup>3</sup>

Bolsista PRH-06 ANP, florahagge@gmail.com, <sup>1</sup>Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, UFPa, <sup>2</sup>Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, UFPa, <sup>3</sup>Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Mecânica, UFPa.

**MOTIVAÇÃO/DESAFIOS:** O estudo de estruturas tectônicas em meso e micro-escala permite o entendimento de importantes parâmetros físicos de reservatórios notadamente aqueles que se referem à relação entre a formação de descontinuidades rúpteis nas rochas e o desenvolvimento de tramas porosas, relacionadas à presença de microfraturas e brechas. Investigações deste tipo têm ganhado importância cada vez maior na avaliação de reservatórios de hidrocarbonetos à medida que diminuem as reservas em meios porosos primários, mais comuns, e se investem recursos em reservatórios associados a rochas de baixa porosidade/permeabilidade.

**OBJETIVO:** Este trabalho está direcionado para a investigação da resposta mecânica (geométrica e dinâmica) de zonas de falha (*damage zone*) no granito Tracuateua, exposto no nordeste paraense. Kim (2004) define uma *damage zone* como o volume de rochas deformadas ao redor de uma superfície de falha, composto por um *núcleo de falha* com superfícies de escorregamento e material rochoso pulverizado, lateralmente gradando para tramas variadas, foliadas ou não, relacionado a um volume mais amplo de distribuição de deformação.

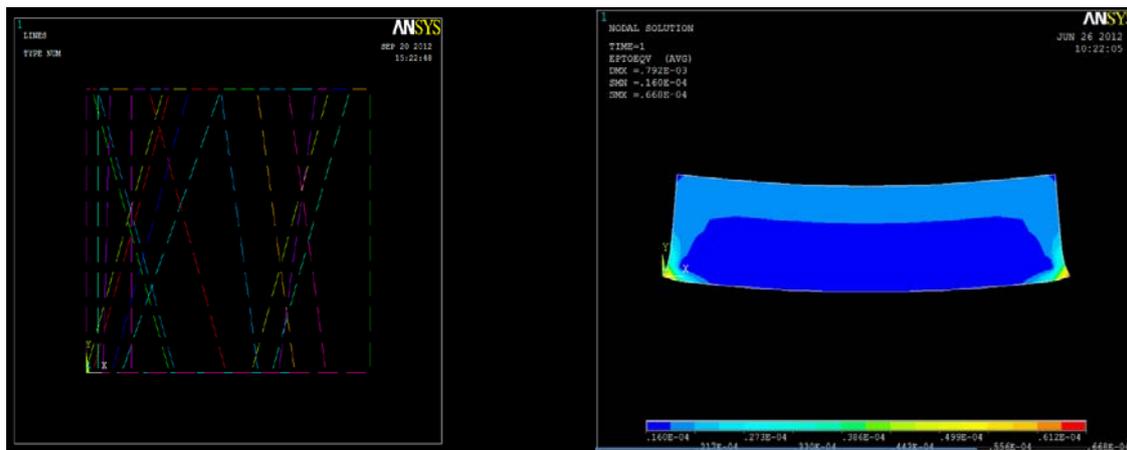
O trabalho tem como proposta básica a elaboração de um modelo geológico para rochas em regiões fraturadas, inseridas ou não no contexto de interesse de exploração de hidrocarbonetos, como possíveis formadores de porosidade e permeabilidade estrutural, ou tectônica, em rochas originalmente maciças sob o ponto de vista de petrotrama. A investigação, como apresentada nesta proposta, tem importância direta no estudo das relações entre rochas e fluidos de diferentes naturezas, por exemplo, em reservatórios petrolíferos e de gás, aquíferos etc. Sendo um estudo de detalhe, voltado para o exame de tramas cataclásticas, requer o conhecimento de diferentes propriedades petrográficas e petrológicas das rochas em diferentes escalas. A abordagem deste assunto envolve a aplicação conjunta de modelos geológicos, computacionais e de mecânica de meios contínuos, no sentido de alcançar resultados satisfatórios de ampla aplicação prática. A interação dessas ferramentas, no âmbito da Geologia Estrutural e da Geologia do Petróleo, a despeito de sua alta relevância atual no estudo dos reservatórios é ainda nova nos espaços de pesquisa no país.

**APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO:** Os resultados a serem obtidos podem ser usados como modelos análogos, em diferentes escalas, para os sistemas geológicos fanerozóicos e abre perspectivas na descoberta de novas províncias produtoras de óleo e gás de idade pré-cambriana, semelhante ao que acontece em outras regiões do planeta.

**RESULTADOS OBTIDOS:** O Granito Tracuateua é classificado como um material mecanicamente homogêneo e frágil, fraturado em regime rúptil de sub-superfície em diferentes estágios não-contemporâneos. Os dados foram coletados em campo a partir do mapeamento de estruturas rúpteis expostos na jazida. Este foi dividido em oito setores de 20 metros cada. Em cada setor foi feito um croqui, com as principais fraturas, falhas, lineações, *damages zones* e

quando possível, a cinemática do plano de falha. Neste trabalho foi reconhecida a *damage zone* de tensões simples e homogêneas, baseado em parâmetros descritos por Mitchell & Faulkner (2009). Esses dados foram representados em 3D (bloco de dimensões 20x180x100) na escala 1:100, e integrados graficamente ao programa ANSYS ED Product Launcher. Baseado em conceitos mecânicos de Hibbeler (2004), o Granito Tracuateua foi tratado como um material elástico isotrópico, tridimensional e fraturado, com determinado volume. Este granito foi representado geometricamente por um volume referente à parte aflorante do mesmo, ou seja, ao modelo de cúpula do batólito de um granito.

Figura . Setor 3 do paredão da pedraira “Santa Mônica” em Tracuateua (PA) com detalhe para os pares de fraturas observados em campo (a direita), com duas direções preferenciais NW-SE (140°) e NE-SW (70°) e mergulhos entre 60 e 90°. A esquerda, o paredão com o campo de tensão representado.



O elemento utilizado para tal representação foi o Plane145, um elemento polinomial para sólidos estruturais bidimensionais com oito nós, tendo dois graus de liberdade (translação em x e y) em cada nó. A malha gerada pelo software ANSYS foi criada apenas nos planos referentes às estruturas tectônicas penetrantes do Granito Tracuateua, visto que o granito não é considerado uma rocha porosa. As amostras desse granito estão em fase de laboratório e os dados estão sendo ensaiados em diferentes modelos no ANSYS.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Hibbeler, R.C. Resistência dos Materiais. 5ª Ed – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.
- Kim, Y.S., Peacock, D. C. P., Sanderson, D. J. (2004). Fault damage zones. *Journal of Structural Geology*, 26, 503 – 517.
- Mitchell, T. M., Faulkner, D. R. (2009). The nature and origin of off-fault damage surrounding strike-slip fault zones with a wide range of displacements: A field study from the Atacama fault system, northern Chile. *Journal of Structural Geology*, 31, 802 – 816.

## O SISTEMA PETROLÍFERO MESODEVONIANO-EOCARBONÍFERO NA BORDA LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, REGIÃO DE PIMENTEIRAS E PICOS (PI)

Roberto Cesar de Mendonça Barbosa, Afonso César Rodrigues Nogueira<sup>1</sup>

Bolsista PRH-06 ANP, [rbarbosa@ufpa.br](mailto:rbarbosa@ufpa.br), <sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará

**MOTIVAÇÃO/DESAFIOS:** A descoberta de indício de gás na sequência mesodevoniana-eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, região nordeste do Brasil, tem motivado uma demanda por informações geológicas para melhor avaliar o provável sistema petrolífero. Esta sequência inclui o Grupo Canindé, composto pelos siliciclásticos das formações Pimenteiras, Cabeças e Longá. Apesar da constatação para geração de hidrocarbonetos nos folhelhos da Formação Pimenteiras, a avaliação petrolífera do reservatório representada por arenitos da Formação Cabeças, ainda é incipiente, bem como a sua integração paleoambiental e paleogeográfica ao longo das bordas leste e oeste da Bacia do Parnaíba, com implicações para o entendimento da geometria deposicional.

**OBJETIVO:** Avaliar a potencialidade do reservatório Cabeças do sistema petrolífero mesodevoniano-eocarbonífero da Bacia do Parnaíba por meio da integração de dados de afloramento e sísmicos.

**APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO:** A integração de dados faciológicos e estratigráficos auxiliado por informações sísmicas permitirá a caracterização paleoambiental e inferir a potencialidade da rocha reservatório do sistema petrolífero mesodevoniano-eocarbonífero, na borda leste da Bacia do Parnaíba, norteando futuros projetos de exploração.

**RESULTADOS OBTIDOS:** A análise faciológica e estratigráfica de detalhe permitiu a identificação de quatro associações de fácies representativas de um sistema de offshore-shoreface inferior influenciado por onda (Formação Pimenteiras) conectado a um sistema deltaico proximal (Formação Cabeças), posteriormente afogado por uma frente deltaica distal (Formação Longá). Camadas tabulares e lateralmente contínuas de folhelhos da Formação Pimenteiras são compatíveis com depósitos de offshore (Fig. 1A), enquanto camadas lenticulares de arenitos com estratificação cruzada hummocky, gerados sob condições de fluxo oscilatório/combinação, concentrados no topo desta unidade, são relacionados com depósitos de shoreface inferior. Lobos sigmoidais e amalgamados de arenitos médios a grossos da Formação Cabeças foram depositados por fluxos hiperpicnais em frente deltaica (Fig. 1B). Lobos sigmoidais de arenito fino destacados por camadas tabulares de pelito além de corpos tabulares de arenito coadunam com sedimentação de barras de desembocadura distal para depósitos da Formação Longá (Fig. 1C). A reconstituição paleoambiente preliminar de afloramentos na borda leste do sistema petrolífero da Bacia do Parnaíba pode ser resumida em duas fases: 1) No Devoniano foi implantado um sistema de deltaico que progradava para uma plataforma rasa dominada por ondas de tempestade e de tempo bom representado pelo sistema Pimenteiras-Cabeças; 2) A elevação do nível estático (glacioeustasia) foi acompanhada do afogamento da plataforma costeira e implantação de um sistema de frente deltaica distal da Formação Longá. A determinação dos aspectos potenciais do sistema petrolífero estudado será realizada através da avaliação de seções sísmicas, neste sentido pretende-se obter um panorama da área estudada e

detectar intervalos onde tenham ocorrido melhores condições de preservação de hidrocarbonetos.

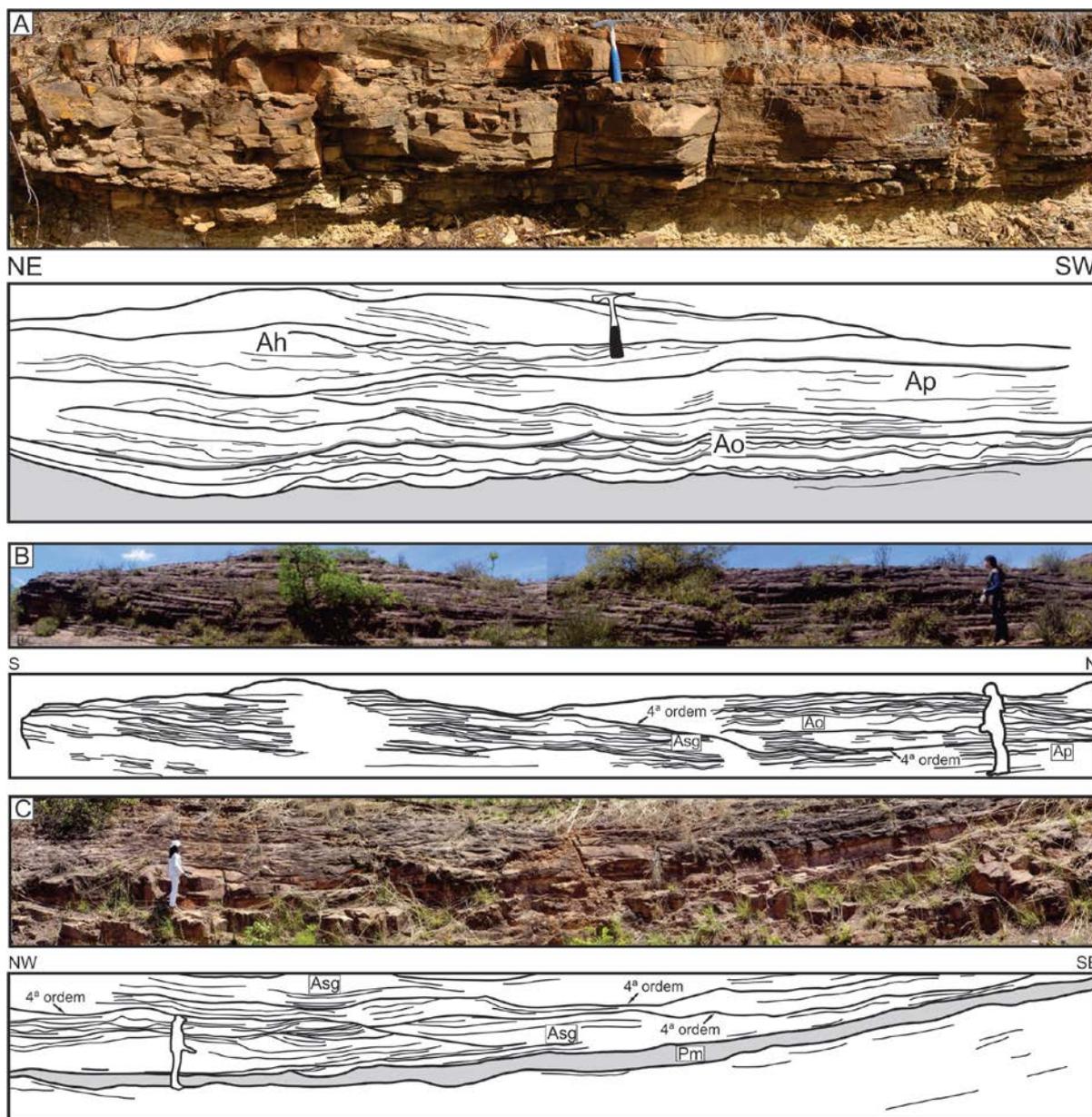


Figura 1. Principais feições deposicionais do sistema petrolífero mesodevoniano-eocarbonífero na borda leste da Bacia do Parnaíba. A) Associação de fácies de offshore/shoreface inferior da Formação Pimenteiras. Corpos amalgamados de arenito com estratificação cruzada hummocky (fácies Ah) passam lateralmente para laminação paralela e ondulada (fácies Ap e Ao) e são destacados por recobrimentos argilosos. B) Associação de fácies de frente deltaica proximal da Formação Cabeças. Lobos com geometria sigmoidal, limitados por superfícies de 4ª ordem e compostos por arenito com estratificação cruzada sigmoidal (fácies Asg), laminação paralela (Ap) e laminação ondulada (fácies Ao). C) Associação de fácies de frente deltaica distal da Formação Longá. Lobos sigmoidais de arenitos com estratificação cruzada sigmoidal (fácies Asg) são destacados por superfícies de 4ª ordem ou por camadas lenticulares de pelito maciço (fácies Pm).