

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

LINEAMENTOS TECTÔNICOS DO EMBASAMENTO ADJACENTE ÀS BACIAS DE ESPÍRITO SANTO, CAMPOS E SANTOS INTERPRETADOS A PARTIR DE IMAGENS LANDSAT 7 ETM.

Iata Anderson de Souza¹, Hans Dirk Ebert²

¹ Curso de Pós-Graduação em Geociências/Geologia Regional, IGCE-UNESP, Caixa Postal 178, CEP 13506-230, Rio Claro, SP, iataas@rc.unesp.br.

² DPM/IGCE/UNESP, Caixa Postal 178, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, hdebert@rc.unesp.br.

Resumo – A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para a interpretação de imagens de satélite Landsat 7 ETM permitiu elaborar um mapa de lineamentos tectônicos do embasamento adjacente às bacias de Espírito Santo, Campos e Santos. Os lineamentos extraídos por classificados em 6 direções preferenciais (NE, NNE, NW, NNW, E-W e N-S). Os lineamentos mais longos representam estruturas mais antigas e de níveis estruturais mais profundos, enquanto os lineamentos mais curtos refletem estruturas mais recentes e de níveis estruturais mais rasos. A direção predominante é a NE, associada às principais estruturas do embasamento Pré-Cambriano, tais como as zonas de cisalhamento que, no Cretáceo Superior e Cenozóico, foram reativadas como falhas normais. A existência de lineamentos com direções dominantes NW e NNW cortando as bacias Cenozóicas, distintas das direções NE marcantes no embasamento cristalino, evidencia eventos mais jovens, inclusive neotectônicos e indica que os campos de tensões sofreram modificações ao longo da história geológica da área. O melhor entendimento do arcabouço estrutural rúptil do embasamento adjacente às bacias de Santos, Campos e Espírito Santo contribuirá para o aprimoramento dos modelos exploratórios de hidrocarbonetos e conseqüentemente a diminuição dos riscos exploratórios das bacias marginais.

Palavras-Chave: Lineamentos Tectônicos; Tectônica Mesozóica e Cenozóica; Província Mantiqueira; e Bacia da Margem Continental Sudeste Brasileira.

Abstract – The interpretation and applications of remote sensing techniques in Landsat 7 ETM satellite images allowed the elaboration of a map of tectonic lineaments in the adjacent basement of the Espírito Santo, Campos and Santos basins. Six preferential directions (NE, NNE, NW, NNW, E-W and N-S) were recognized. The longest lineaments represent older structures of deep structural levels, while the shortest lineaments reflect more recent structures of shallower crustal levels. The predominant lineament direction in the region is the NE which coincide with the main structures of the Pre-Cambrian basement, such as ductile shear zones which, in the Upper Cretaceous and Cenozoic, were reactivated as normal faults. The existence of lineaments with dominant NW and NNW directions in the Cenozoic basins indicate neotectonic events, differently from the NE directions defined in the crystalline basement. These differences between the directions of lineaments of the basement and Cenozoic domains indicate that the stress fields suffered modifications during the geologic history of the area. The better understanding of the brittle structural framework of the basement onshore adjacent to the Santos, Campos and Espírito Santo basins will contribute to enhance the exploration models and consequently to decrease the exploration risks of the basins offshore.

Keywords: Tectonic Lineaments, Mesozoic and Cenozoic Tectonics, Mantiqueira Province, and Basin of the Southeastern Brazilian Continental Margin

1. Introdução

O embasamento adjacente às bacias da Margem Continental Brasileira apresentou-se tectonicamente ativo durante o Mesozóico e o Cenozóico, devido ao processo de fragmentação do Gondwana Ocidental que resultou na separação entre América do Sul e África. Estes processos e outros movimentos posteriores influenciaram a acumulação de sedimentos e a geração de trapas nas bacias marginais. Dentro deste contexto, destacam-se os estudos de Dias et al. (1987), Macedo (1989), Chang et al. (1992), Cobbold et al. (2001), Meisling et al. (2001).

A identificação e o traçado de lineamentos, em imagens de satélite e fotos aéreas, desempenham um papel muito importante na análise da estruturação geológica de uma dada região (Amaral, 1994). Normalmente as feições lineares representam descontinuidades físicas dentre ou entre corpos litológicos (juntas, falhas, foliação, bandamento, acamamento, contatos, etc.).

Este trabalho apresenta os resultados da elaboração de mapas de lineamentos tectônicos do embasamento adjacente às bacias de Santos, Campos e Espírito Santo (Figura 1), por meio de processamento e interpretação de imagens de satélite Landsat 7 ETM. Procurou-se também caracterizar esses lineamentos em termos de seu significado geológico, estrutural, geomorfológico e morfotectônico, correlacionando-os aos principais eventos tectônicos ocorridos durante o Mesozóico e Cenozóico, e posteriormente verificar sua influência nas bacias e nos sistemas petrolíferos.

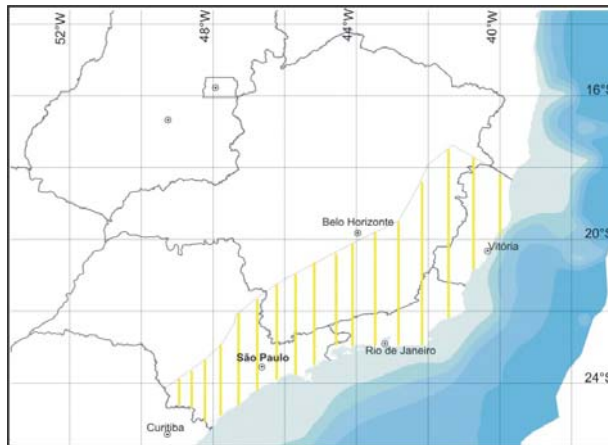


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

2. Métodos Utilizados

Para realização deste trabalho foram utilizadas 17 cenas de satélite Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper), que compreendem toda a área de estudo. As cenas adquiridas estão em formato digital e georreferenciadas ao Datum SAD 69 e às coordenadas UTM/Zona 23 sul. O programa utilizado foi ER Mapper 6.3 (Earth Resource Mapping) que permitiu o processamento e tratamento destas cenas, tais como georreferenciamento, técnicas de realce por manipulação de contraste, realce por composição colorida (RGB), transformação HIS e realce no domínio espacial (filtragem) e criação de um mosaico (Figura 2).



Figura 2: Mosaico das 17 cenas utilizadas no trabalho, com aplicação das técnicas de realce por manipulação de contraste, composição colorida (7R4G2B) e filtragem.

Para a identificação dos principais elementos estruturais aplicou-se o modelo de fotointerpretação de Amaral (1994), dentro das seguintes categorias principais: linhas de cristas ou limites de áreas elevadas, linhas de drenagem, linhas de contato entre zonas com diferentes texturas, linhas de fraturamentos e linhas definidas por variações tonais ou texturais.

3. Resultado e Discussões

3.1. Interpretação Tectônica, Estrutural e Geomorfotectônica dos Lineamentos.

A análise de roseta de frequência de intervalo 10° do conjunto de 30.000 feições lineares extraídas revelou as seguintes direções principais (Figura 3): N60-70E, N10-20W, N50-70W, N10-20E, N0-10W, em ordem decrescente de frequência.

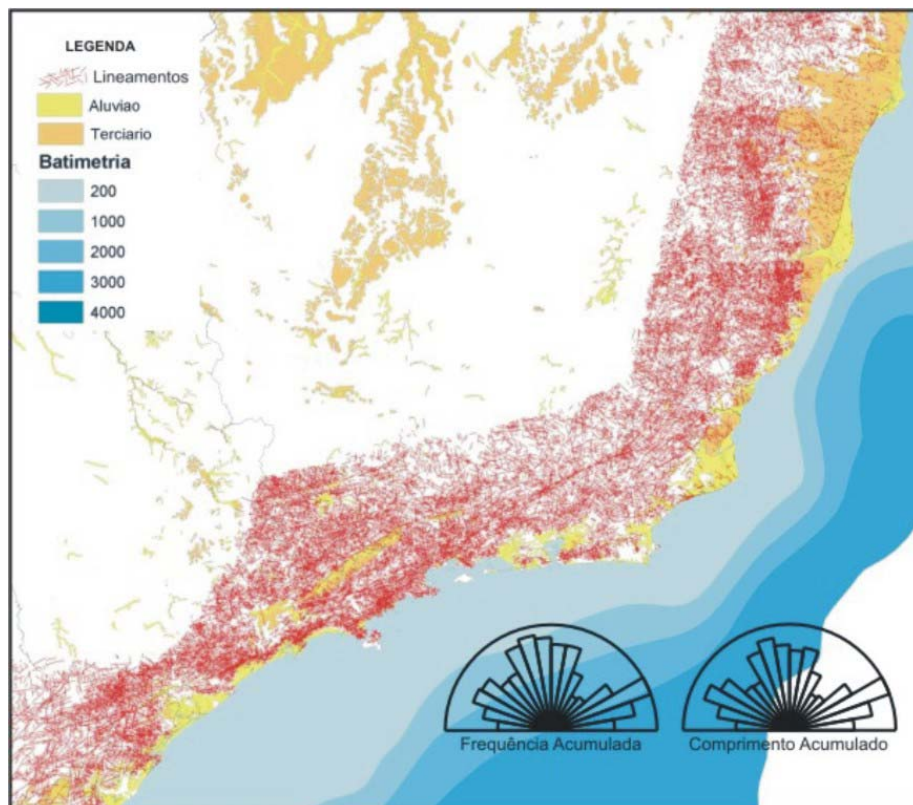


Figura 3: Mapa de lineamentos da Margem Continental do Sudeste extraído a partir de imagens de satélite Landsat 7 ETM. Os diagramas de rosetas representam os comprimentos e frequências acumuladas.

Para melhorar a interpretação, os lineamentos foram separados em seis *layers* segundo suas direções principais (Figura 4). Essas direções apresentam as seguintes características:

- NE-SW: lineamentos não retilíneos e extensos, às vezes curtos e retilíneos, coincidem com as principais estruturas dúcteis, tais como as zonas de cisalhamento, contatos litológicos e foliação metamórfica do Cinturão Ribeira entre o Paraná e o Norte do Estado do RJ. Durante o Cretáceo Superior e Cenozóico estes lineamentos tectônicos foram reativados como falhas normais, sendo associados ao soerguimento e abatimento das Serras do Mar e da Mantiqueira, como atestado por cristas e escarpas nesta direção.

Este soerguimento teve uma importância no fornecimento de sedimentos clásticos na Bacia de Santos durante o Senoniano (89 a 65 Ma); e na compartimentação e sedimentação, a partir do Paleoceno, das bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil que encontram-se alinhadas e encaixadas ao longo das zonas de cisalhamento reativadas nesta direção. Essa direção também é responsável pelo arranjo da rede de drenagem do Rio Paraíba do Sul, e de seus principais afluentes, que em grande parte de seu percurso é controlado pelas falhas antigas do embasamento.

- NNE-SSW, E-W e N-S: lineamentos de curto comprimento e retilíneos, com alguns quilômetros de extensão. Algumas estruturas NNE e E-W acompanham as grandes zonas de cisalhamentos e em termos morfológicos condicionam várias escarpas de falhas menores nas serras do Mar e da Mantiqueira. Na região do Lineamento de Colatina, no Estado do Espírito Santo, a direção N-S é abundante e ocorre como vales estruturais adaptados a fraturas e falhas.

- **NW-SE**: ocorrem como fraturas, como lineamentos de curto comprimento e retilíneos, e em algumas regiões como falhas deslocando as estruturas NE e as drenagens ao longo do Rio Paraíba do Sul e seus afluentes. No Estado do Paraná e Sul de São Paulo essa direção é representada por diques básicos, podendo ter extensões que chegam a dezenas de quilômetros.

Na região de Volta Redonda, Estado do Rio de Janeiro, essa direção coincide com a Zona de Transtensão de Volta Redonda, uma importante zona de falhas, de natureza transtensiva, evidenciada no campo por brechas, zonas de silicificação e deslocamento lateral das estruturas pré-cambrianas (Valeriano & Heilbron, 1993). A Zona de Transferência do Funil, identificada entre a Serra da Bocaina e a costa Atlântica através de mapa isogáfica de Anomalias Bouguer (Almeida & Ebert 2002), coincide em superfície com estes lineamentos.

- **NNW-SSE**: ocorrem preferencialmente na região norte de Resende-RJ e no Espírito Santo, onde se destaca o Lineamento de Colatina, que constitui uma faixa ampla com aproximadamente 40 km de largura. Este lineamento originou-se durante o Eopaleozóico por movimentos transcorrentes e foi reativado durante o Mesozóico (Jurássico) por um regime trativo, ao qual estão associados diques básicos (RADAMBRASIL, 1987). Em ambas as regiões essa direção aparece como lineamentos extensos e retilíneos, e geomorfológicamente como vales estruturais que alojam rios rejuvenescidos adaptados a linhas de fraturas e falhas. Esta direção também ocorre como lineamentos de curto comprimento e retilíneos (estruturas rúpteis cortando algumas estruturas NE).

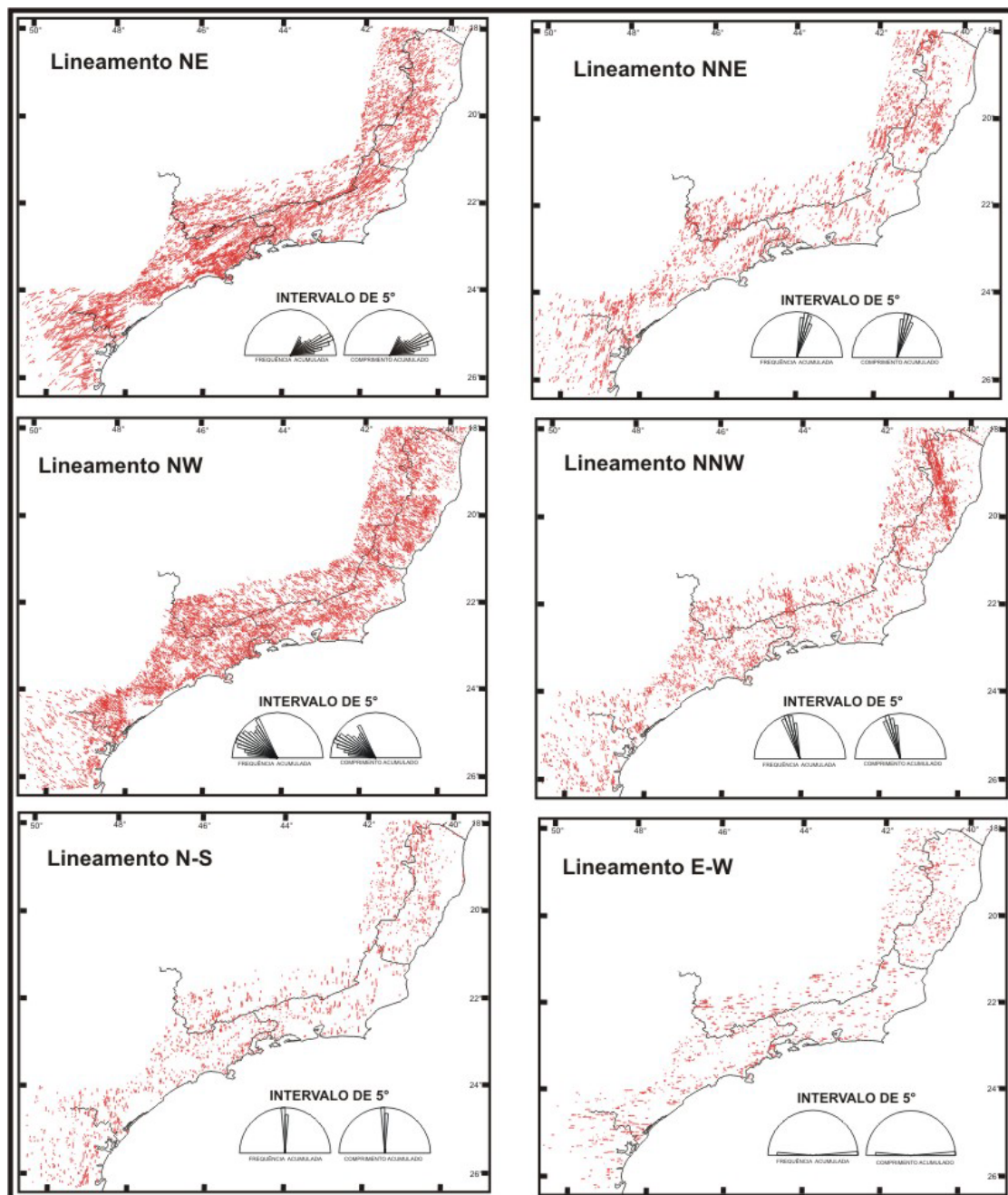


Figura 4: Mapas de lineamentos tectônicos separados de acordo com as suas direções preferenciais.

3.2. Relação dos lineamentos com as bacias sedimentares

Dados integrados dos lineamentos tectônicos sobre o mapa de feições estruturais das bacias da Margem Continental Sudeste (Chang et al. 1992), baseado em sísmica (Figura 5), mostraram que as estruturas de direções NE nas bacias (graben e horst) são também dominantes e similares às do embasamento adjacente, evidenciando seu controle na formação e compartimentação tectônica dessas bacias. A roseta de frequência na Bacia do Espírito Santo apresenta direção NNW também dominante (Chang et al. 1992), similar à do Lineamento de Colatina, o que evidencia que esses lineamentos também foram importantes na formação e compartimentação nessa bacia.

Na parte continental, observou-se nas imagens de satélites a existência de lineamentos seccionando as bacias Terciárias e Quaternárias, cujas rosetas de frequência (Figura 6) mostram direções dominantes NW e NNW, diferentemente das direções NE que são marcantes no embasamento cristalino. A diferença entre as direções de lineamento no embasamento e nos domínios Terciários e Quaternários indica que os campos de tensões sofreram modificações ao longo da história geológica da área. Os lineamentos com direção NW, dominantes nas unidades Cenozóicas, podem estar associados a reativações ou ao estabelecimento de novos planos de fraqueza, condicionados a transcorrências dextrais de direção E-W de escala regional (Hasui et al., 1998).

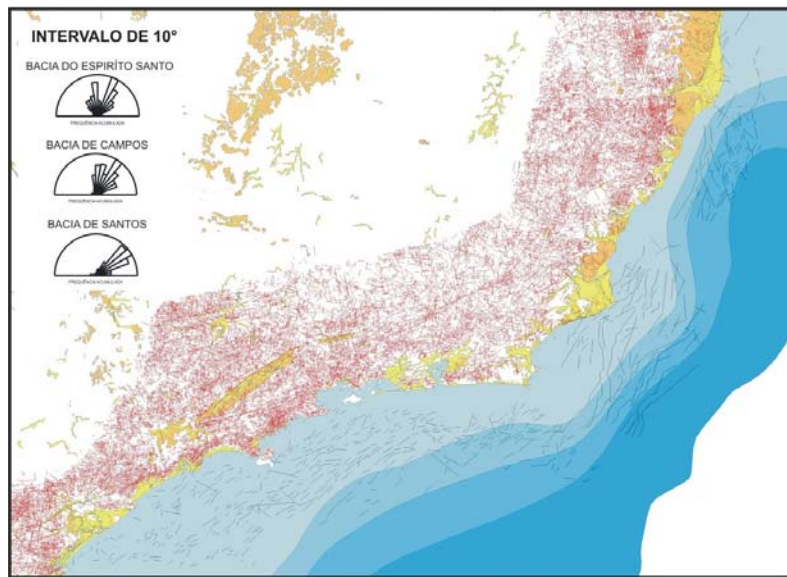


Figura 5: Integração do mapa de lineamentos (linhas vermelhas) extraídos a partir de imagens de satélite com as estruturas das bacias da Margem Continental do Sudeste (linhas pretas) extraídas de dados sísmicos (Chang 1992). Os diagramas de roseta, no canto superior esquerdo, representam a frequência no intervalo 10°.

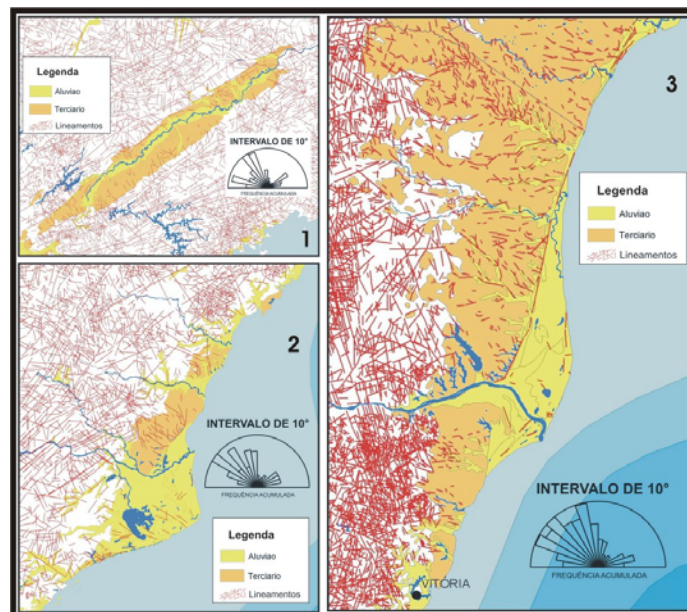


Figura 6: Lineamentos extraídos das bacias continentais com a respectiva roseta de frequência de intervalo de 10°: 1 – Bacia de Taubaté, 2 - Grupo Barreira na região da Foz do Rio Paraíba do Sul, 3 - Grupo Barreira na região da Foz do Rio Doce e norte Espírito Santo.

4. Considerações Finais

A análise estrutural, tectônica, geomorfotectônica dos lineamentos extraídos no embasamento continental a partir de imagem de satélite e sua relação com as bacias sedimentares *onshore* e *offshore*, permitiram associá-los aos diversos eventos tectônicos descritos na região durante o:

- Neocretáceo: associados ao soerguimento e abatimento das Serras do Mar e da Mantiqueira e conseqüentemente fornecimento de sedimentos clásticos para a Bacia de Santos.
- Terciário: na compartimentação e sedimentação das bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989) e exposição de lineamentos seccionando os depósitos terciários.
- Quaternário: através do reconhecimento de lineamentos seccionando os depósitos quaternários.

As falhas e fraturas dentro das bacias da Margem Continental Sudeste do Brasil, representadas pela maioria dos lineamentos de direções NW-SE, NNW-SSE e N-S, podem ter influenciado na deposição de rochas-reservatórios, como também na migração e distribuição de hidrocarbonetos. Alguns desses falhamentos e fraturamentos podem corresponder a reservatórios naturais ou ser selantes das rochas reservatórios. Essas falhas e fraturas também podem contribuir para a migração de águas meteóricas e microorganismos continentais para dentro da bacia, promovendo a biodegradação dos campos de petróleo, de forma que sua caracterização mais precisa auxilia nas atividades exploratórias.

O avanço do conhecimento dos lineamentos tectônicos no embasamento adjacente às bacias de Santos, Campos e Espírito Santo contribuirá para o aprimoramento dos modelos exploratórios de hidrocarbonetos e conseqüentemente a diminuição dos riscos exploratórios. O melhor entendimento do arcabouço estrutural desta região, também é importante para a geologia e a mecânica dos reservatórios, uma vez que se trata de uma região fortemente estruturada, pois as falhas e fraturas podem prejudicar ou melhorar o desempenho de um campo petrolífero, tanto na exploração, como na produção de hidrocarbonetos.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio de uma bolsa de estudos do Programa de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás, PRH-05-ANP/MCT/UNESP e com infraestrutura do Projeto EVOLTER (“Evolução Tectônica e Histórica Térmica da Margem Continental do SE do Brasil / W da África”), convênio FAURGS/UNESP/UNICAMP/FINEP/CTPETRO.

6. Referências

- AMARAL, G. Métodos para a obtenção de informação estrutural em produtos de sensoriamento remoto. *Cadernos-IG/UNICAMP*, Campinas, v.4, n.1, p. 98-111, 1994.
- ALMEIDA, S.H.S., EBERT, H.D. Arcabouço crustal e gravimetria do Cinturão Ribeira na Margem Continental na Região Limitrofe entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 41, Anais, 2002, p.289.
- CHANG, H.K., KOWSMANN, R.O., FIGUEIREDO, A.M.F., BENDER, A.A. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. *Tectonophysics*, n.213, p.97-138, 1992.
- COBBOLD, P.R., MEISLING, K.E., MOUNT, V.S. Reactivation of na obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, v. 85, n. 11, p.1925-1944, 2001.
- DIAS, J.L., GUAZELLI, W., CATTO, A.J., Integração do arcabouço estrutural da Bacia de Campos com o embasamento pré-cambriano adjacente, In: SBG, Simpósio de Geologia RJ-ES, 1, Anais, 1987, p. 189-197.
- HASUI, Y., COSTA, J.B.S.; BORGES, M.S., MORALES, N., RUEDA, J.R.J. Evolução morfotectônica do Sudeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Anais, 1998, p.78.
- MACÊDO, J.M., *Evolução estrutural da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes*. 1987. Dissertação – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 173p.
- MEISLING, K.E., COBBOLD, P.R., MOUNT, V.S. Segmentation of na obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bulletin*, v. 85, n. 11, p.1903-1024, 2001.
- RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais (Vol. 34), Folhas SE.24 - Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1983, 548 p., 6 mapas.
- RICCOMINI, C., O Rift Continental do Sudeste do Brasil. 1989. Tese – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256p.
- VALERIANO, C.M., HEILBRON, M. A Zona de Transtensão de Volta Redonda e sua importância na junção entre os riftes do Vale do Paraíba e o da Guanabara: dados preliminares. In: SBG, Simpósio de Geologia do Sudeste, 3, Atas, 1993, p. 9-16.