



Tectonossequências da bacia de Taubaté: Uma interpretação Sismoestratigráfica

Leonardo Molinari, Repsol YPF Brasil (lmolinari@repsolypf.com)

Leonardo Borghi, Departamento de Geologia, IGEO / UFRJ

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The Taubaté basin is a Cenozoic basin located in the Southeastern part of Brazil, and its evolution has been associated to the process of the South Atlantic opening. Although many studies have been done in this basin several uncertainties remains. Most of the studies is about surface geology resulting in a lack of knowledge about subsurface environment. The aim of this work is to fill the gap between surface geology and the subsurface environment by associating a seismic stratigraphic interpretation with geological features known at the surface. The seismic stratigraphic interpretation allowed the identification of five seismic facies, which were associated to different depositional environments, and four tectonosequences, associated to lithostratigraphic units of the basin. As the results, two new stratigraphic units were identified below the known sedimentary sequence, leading to a stratigraphic revision of the basin. It is proposed in this work the usage of the allostratigraphic concept for the revision which will originate four alloformations. The tectonic model of the basin was also revised, suggesting a pull-apart basin type instead of rift type basin.

1 Introdução

A bacia de Taubaté, localizada na porção Nordeste do Estado de São Paulo, representa o maior registro geológico da sedimentação continental durante o Cenozóico no sudeste do Brasil. Corresponde a uma feição geomorfologicamente deprimida entre as serras da Mantiqueira e do Mar, com 2 400 km² e uma espessura sedimentar máxima de 840 m (cf. Marques 1990).

A bacia tem sido alvo de diversos estudos com diferentes enfoques; paleontológicos, estratigráficos, econômicos entre outros. Embora seja uma bacia muito estudada, existem controvérsias que ainda permanecem, principalmente de caráter sedimentológico, estratigráfico e tectônico.

Os estudos realizados até o presente na bacia, em sua grande maioria, têm sido realizados observando a geologia de superfície, deixando assim, uma carência de estudos de subsuperfície, os quais não devem ser desvinculados do conhecimento geológico de superfície.

O objetivo deste trabalho é preencher esta lacuna associando uma interpretação sismoestratigráfica com as feições geológicas conhecidas até o momento na superfície da bacia de Taubaté.

Apesar da bacia de Taubaté não apresentar nenhum interesse exploratório para a indústria do petróleo, o conhecimento de sua geologia pode auxiliar em estudos nas bacias marginais adjacentes, principalmente no que se refere a sedimentação cenozóica dos reservatórios petrolíferos das bacias de Campos e Santos.

2 Material e Método

Este trabalho corresponde a uma síntese das principais idéias apresentadas por Molinari (2003) durante o seu trabalho de conclusão de curso no IGEO / UFRJ inserido no projeto BACINT "Evolução das Sequências Sedimentares do Sistema de Bacias Cenozóicas da Serra do Mar", que corresponde a um projeto CTPetro/Finep realizado no Laboratório de Geologia de Águas Profundas (GEDAP) do Departamento de Geologia da UFRJ, sob a encomenda da PETROBRAS.

O trabalho foi realizado em três etapas: (i) interpretação dos 178 km de linhas sísmicas adquiridas pela PETROBRAS em 1988, (ii) correlação da interpretação sismoestratigráfica com os atributos geológicos observados no mapa geológico de Riccomini (1989) e na imagem de satélite (Landsat 7), e (iii) uma checagem no campo das correlações feitas anteriormente.

A interpretação das linhas sísmicas foi realizada utilizando o software Geographix® da Landmark disponível no GEDAP/UFRJ. Aplicou-se a metodologia de interpretação sismoestratigráfica proposta por Mitchum & Vail (1977) no Memoir #26 da AAPG.

Esta metodologia é constituída por três fases. A primeira trata-se de reconhecer as seqüências sísmicas e determinar suas idades relativas, a segunda consta da identificação e interpretação das fácies sísmicas, enquanto que a terceira consta de uma análise regional das variações eustáticas. Devido as condições geológicas estritamente continentais na bacia de Taubaté, adaptou-se a terceira fase através de uma análise das tectonossequências, que será discutido mais adiante.

Para a correlação entre a interpretação sismoestratigráfica e os dados geológicos de superfície criou-se um "Sistema de dados georeferenciados" (SDGeoref) utilizando o programa GeoAtlas do Geographix®. O SDGeoref constituído pelas linhas sísmicas, mapa geológico, imagem de satélite e dados de afloramentos, possibilitou a correlação de dados em diferentes escalas de observação.

3 Contexto Geológico

A região sudeste do Brasil é constituída por rochas ígneas e metamórficas da Faixa Móvel Ribeira cuja evolução esta relacionada à amalgamação do supercontinente Gondwana durante o Proterozóico, no que se conhece como Ciclo Brasileiro ou Pan-Africano.

No início do Terciário esforços tectônicos relacionados ao evento tafrogênico que resultou na abertura do Oceano Atlântico reativam os lineamentos impressos na Faixa Ribeira durante o Ciclo Brasileiro formando depressões continentais, que são preenchidas pelos sedimentos continentais que, atualmente, correspondem as porções mais basais das bacias de Campos e de Santos.

Após os movimentos crustais relacionados a uma fase de intrusões magmáticas no sudeste brasileiro durante o Neocretáceo, criam-se depressões entre blocos que possibilitam a instalação das bacias sedimentares cenozóicas do sudeste brasileiro (Macedo 1990).

A estas bacias Riccomini (1989) define o "Rift Continental do Sudeste Brasileiro" (RCSB) estudando as bacias de Curitiba, São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda, atribuindo-as uma possível continuidade lateral; cujas evoluções estão relacionadas ao processo de rifting do Atlântico Sul.

Embora as bacias do RCSB representem os maiores registros da sedimentação continental cenozóica, outros registros menores podem revelar importantes informações da época. Destacam-se aqui a bacia do Bonfim e o Gráben da Guanabara. A bacia do Bonfim, localizada a 10 km ao sul da cidade de Caçapava, é preenchida por sedimentos depositados em um sistema fluvial meandrante pertencentes a uma seqüência basal da bacia de Taubaté (Saad 1990 *apud* Fernandes 1993).

O Gráben da Guanabara localizado na porção oriental do RCSB é dividida em duas sub-bacias: sub-bacia de Macacu e Sub-bacia de São José do Itaboraí; sendo esta última de idade paleocênica ou mais antiga, preenchida por calcários travertinos intercalados com lamitos (Ferrari & Riccomini 2002). Esta sub-bacia corresponde ao registro sedimentar mais antigo da região sudeste do Brasil.

A bacia de Taubaté, egundo Riccomini (1989), está constituída basicamente por cinco unidades litoestratigráficas. A sedimentação inicia-se com a deposição do Grupo Taubaté, constituída pelas formações Resende, Tremembé e São Paulo.

A Formação Resende, de idade Paleogênica, corresponde a porção basal do Grupo Taubaté e está constituída de conglomerados polimíticos, arenitos arcoseanos grossos a finos e lamitos. Assume-se um contato inferior discordante sobre o embasamento cristalino, e o superior, concordante com as formações Tremembé e São Paulo. Interpreta-se um paleoambiente deposicional relacionado a leques aluviais associados as falhas de borda, e a planícies aluviais de rios entrelaçados no centro da bacia.

A Formação Tremembé, também do Grupo Taubaté, é constituída por argilitos verdes, margas, folhelhos maciços e pirobetuminosos (Riccomini, 1989). Interpreta-se estes sedimentos como registro de um paleoambiente lacustre durante o Oligoceno, que se estendia por grande parte da bacia.

A Formação São Paulo, restrita a porção Sudoeste da bacia de Taubaté (não amostrado pelas linhas sísmicas), corresponde a porção superior do Grupo Taubaté. Está constituída por arenitos grossos, localmente conglomeráticos, com granulodecrescência ascendente até siltitos e argilitos. Segundo Riccomini (1989) seu limite inferior é concordante com a Formação Tremembé, e o superior, discordante com as formações Pindamonhangaba e Itaquaquecetuba.

A Formação Itaquaquecetuba, pleistocênica, é constituída por arenitos grossos mal selecionados e pouca matriz siltico-argilosa. Encontram-se discordantemente acima do Grupo Taubaté. Sua ocorrência na bacia de Taubaté limita-se à porção Sudoeste (não amostrado pelas linhas sísmicas). Atribui-se a essa formação um paleoambiente fluvial entrelaçado sob condições de aridez climática (Coimbra *et al.* 1983).

A Formação Pindamonhangaba, também pleistocênica, é constituída de arenitos conglomeráticos na base e siltitos e argilitos no topo, apresentando uma granodecrescência ascendente. Para estes depósitos é atribuído um paleoambiente fluvial meandrante (Riccomini, 1989). Seus limites estratigráficos são discordantes com as rochas do Grupo Taubaté na base, e com colúvios-aluviais do Quaternário no topo. Esta formação ocorre na porção central da bacia de Taubaté, e por tanto, foi amostrada pelas linhas sísmicas.

Quadro 1 – Análise das fácies sísmicas: quadro comparativo entre as fácies sísmicas, com suas respectivas interpretações

	Fácies Sísmica A	Fácies Sísmica B	Fácies Sísmica C	Fácies Sísmica D	Fácies Sísmica E
Configuração Interna	Caótica	Desordenada / Lenticular	Caótica / Desordenada	Plano-paralelas	Lenticular / desordenada
Continuidade Lateral	Baixa	Baixa / Moderada	Baixa	Alta	Moderada
Amplitude	Fraca	Fraca / Moderada	Baixa	Alta	Moderada / Alta
Forma (2D)	Indefinida	Lenticular	Triangular	Tabular	Tabular
Ambiente Depositional	Igneo e/ou Metamórfico	Fluvial Meandrante Atual	Leques Aluviais	Lacustre e Fluvial Meandrante	Fluvial
Unidade Litoestratigráfica*	Embasamento	Depósitos Quaternários do Rio Paraíba do Sul	Formação Resende	Formações Tremembé e Pindamonhangaba	Fm. Resende Distal

*Segundo Riccomini (1989)

Quadro 2 – Correlação entre a análise sismoestratigráfica com os dados litoestratigráficos

Ambiente Depositional	Fácies Sísmicas	Tectonosseqüências	Unidades Litoestratigráficas
Fluvial Meandrante	B + D	IV	Depósitos Quaternários e Formação Pindamonhangaba
Lacustre	C+D	III-B	Formação Tremembé
Leques Aluviais e planície fluvial	C + E	III-A	Formação Resende
Leques Aluviais e Fluvial Meandrante	C + E	II	Unidade desconhecida
Leques Aluviais?	C?	I	Unidade desconhecida
Ígneo e/ou Metamórfico	A	Embasamento	Embasamento

O preenchimento da bacia de Taubaté inicia-se com a deposição dos leques aluviais nas bordas da bacia e planícies fluviais no centro (Formação Resende). Este sistema dá origem a um ambiente lacustre (Formação Tremembé) o qual posteriormente será preenchido e assoreado por sedimentos fluviais (Formação São Paulo). Após o assoreamento da bacia eventos tectônicos são responsáveis pela criação de novos espaços de acomodação que serão preenchidos por sedimentos fluviais (Formações Itaquaquecetuba e Pindamonhangaba).

4 Análise dos dados sísmicos

A identificação das fácies sísmicas corresponde a etapa da interpretação sismoestratigráfica que tem como objetivo identificar os principais padrões de reflexão sísmica e suas relações dentro de uma unidade ou seqüência sísmica, podendo assim, interpretar os seus significados geológicos (Mitchum *et al.* 1977).

Foram identificadas cinco fácies sísmicas neste trabalho, as quais foram caracterizadas de maneira qualitativa seguindo os atributos observados no quadro 1. A cada uma delas associa-se um ambiente deposicional, os quais são correlacionados com as unidades litoestratigráficas definidas por Riccomini (1989) (Quadro 1).

Conforme mencionado anteriormente, devido que a bacia de Taubaté durante toda sua evolução tectono-sedimentar não teve nenhuma influência do mar, ao invés de se realizar uma análise regional da variação eustática, utiliza-se o conceito de Tectonosseqüências.

Entende-se por Tectonosseqüência como o conjunto de estratos geneticamente relacionados que foram depositados durante uma fase de atividade tectônica específica, e que são identificadas através de discordâncias de caráter regional em uma bacia sedimentar. A importância das discordâncias que limitam essas tectonosseqüências é que elas representam importantes eventos tectônicos para estudos de preenchimento de uma bacia (Silva, 1993).

Neste trabalho foi identificado quatro tectonosseqüências, das quais, apenas uma foi possível subdividir-la em duas seqüências sísmicas de acordo com a definição de Mitchum & Vail (1977). Observa-se no quadro 2 uma correlação das tectonosseqüências identificadas com as fácies sísmicas, os ambientes deposicionais e as unidades litoestratigráficas.

A tectonosseqüência I, localizada na porção sudeste da bacia de Taubaté foi amostrada por uma única linha sísmica (Figura 1); apresenta uma forma de cunha e uma pequena extensão espacial. Sua gênese está relacionada aos primeiros pulsos tectônicos responsáveis pela formação da “calha” onde se instalará posteriormente a bacia de Taubaté. Devido a sua pequena extensão areal afirma-se que estes primeiros pulsos tectônicos, responsáveis pelas bacias continentais cenozóicas do sudeste brasileiro, ocorreram de forma muito localizada.

Os depósitos sedimentares desta tectonosseqüência permanecem ainda geologicamente desconhecidos, porém, seria possível correlacionar, de maneira qualitativa, aos depósitos carbonáticos da sub-bacia de São José do Itaboraí no Gráben da Guanabara.

De acordo com essa interpretação, esta tectonosseqüência pode representar mais um registro da sedimentação continental durante o Paleoceno (?), ou mais antigo, no Sudeste do Brasil, que se encontra preservada abaixo das seqüências sedimentares da bacia de Taubaté, representando assim, uma pequena bacia pré-Taubaté.

A tectonosseqüência II corresponde à seqüência basal que se estende por toda a porção da bacia de Taubaté que foi amostrada pelas linhas sísmicas. Correspondem a sedimentos que preenchem um embasamento bastante irregular depositados sob um sistema fluvial meandrante (segundo a análise de fácies sísmicas – Quadro 1).

A semelhança da tectonosseqüência I, esta unidade também permanece geologicamente desconhecida na bacia de Taubaté, porém, pode ser correlacionada, de forma hipotética, com os sedimentos que preenchem a bacia do Bonfim. Esta tectonosseqüência corresponde a “Unidade Sísmica A” identificada por Marques (1990).

Figura 1 - Seção Sísmica Interpretada na porção Sudoeste da Bacia de Taubaté

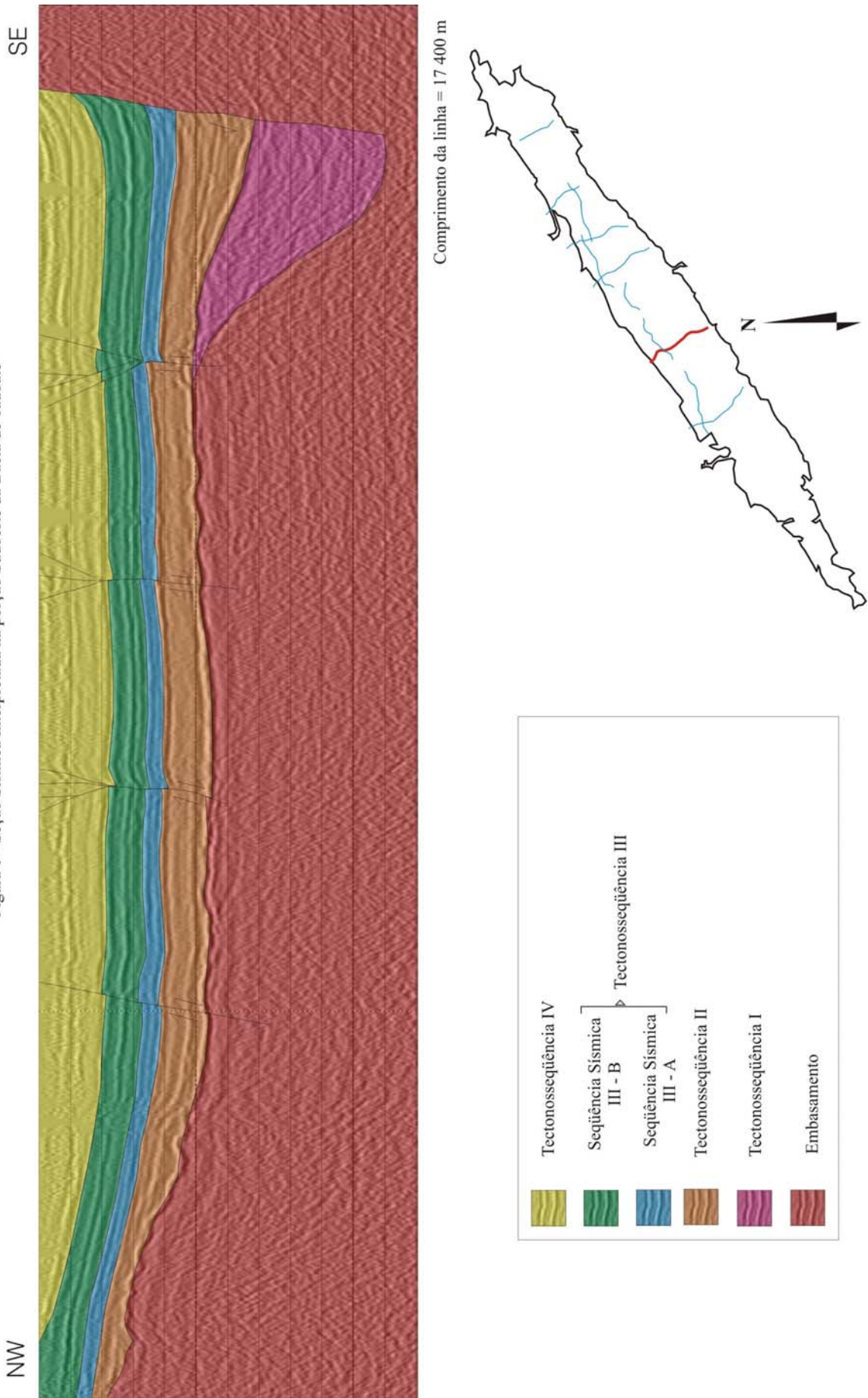




Figura 2 – Afloramento do contato erosivo entre a Formação Pindamonhangaba (acima) e a Formação Tremembé (abaixo). Localizado na Rodovia SP-103, km1 em direção a Jambeiro.

Atribui-se uma sedimentação sin-tectônica para esta unidade, cujas evidências são observadas por falhas normais, na porção Nordeste, e por falhas reversas, na porção Sudoeste da bacia. Observa-se que estas evidências encontram-se localizadas próximas a altos estruturais do embasamento; Alto de Caçapava à Sudoeste e Alto de Guaratinguetá a Nordeste.

Estas evidências nos indicam um regime cisalhante de caráter regional que atuava durante a formação da bacia de Taubaté, caracterizando-a como uma bacia do tipo “pull-apart”, porém, com uma forte componente distensiva evidenciado pelos maiores depocentros sedimentares localizados entre is respectivos altos estruturais.

A tectonosseqüências III ocorre ao longo de toda a porção da bacia amostrada pelas linhas sísmicas, e foi depositada sob um período de relativa calmaria tectônica. Pode ser subdividida em duas seqüências sísmicas: a seqüência III-A corresponde a porção inferior e foi correlacionada com os depósitos de leques aluviais da Formação Resende; enquanto que a seqüência sísmica III-B, porção superior, foi correlacionada com os depósitos lacustres da Formação Tremembé.

Devido a ausência de um sistema deltáico entre os depósitos de leques aluviais e planícies fluviais da Formação Resende e dos depósitos lacustres da Formação Tremembé, assume-se que a superfície que separa a seqüência sísmica III-A e III-B corresponde a uma diastema.

A tectonosseqüência IV, corresponde à porção mais superficial de todas as linhas sísmicas. Foi correlacionada com os depósitos da Formação Pindamonhangaba e com os depósitos quaternários presentes na superfície da bacia de Taubaté.

A discordância que à separa da Tectonosseqüência III não é possível observar nas linhas sísmicas, porém, é muito bem observada na correlação das linhas sísmicas com os dados de afloramento. Observa-se na Figura 2 um afloramento do contato erosivo entre as Formações Tremembé e Pindamonhangaba, evidenciando assim, eventos tectônicos responsáveis pela criação de novo espaço de acomodação para os sedimentos da Formação Pindamonhangaba.

5 Conclusões

Com a interpretação sismoestratigráfica e sua correlação com os atributos geológicos conhecidos na superfície foi possível identificar duas novas unidades estratigráficas que permanecem geologicamente desconhecidas e preservadas abaixo das seqüências sedimentares da bacia de Taubaté.

Com estas duas novas unidades estratigráficas torna-se necessário uma revisão da estratigrafia da bacia de Taubaté, a qual deverá ser realizada a través da integração de dados geológicos de superfície com os dados geofísicos utilizados neste trabalho.

Sugere-se para esta revisão estratigráfica a aplicação da Aloestratigrafia, que segundo o Código Estratigráfico Norteamericano (1983), as unidades estratigráficas são limitas por discordâncias regionais.

De acordo com este conceito a bacia de Taubaté estaria composta de quatro aloformações limitadas por discordâncias regionais relacionadas a eventos tectônicos. Desta forma as tectonosseqüências I e II corresponderiam a duas aloformações (Aloformação I e Aloformação II) que permanecem geologicamente desconhecidas. A tectonosseqüência III, por estar constituída pelas formações litoestratigráficas do Grupo Taubaté, corresponde a aloformação III ou Aloformação Taubaté; enquanto que a tectonosseqüência IV corresponderia a Aloformação IV ou Aloformação Pindamonhangaba, por estar constituída pela unidade litoestratigráfica homônima.

Conforme foi observado nas linhas sísmicas, e descrito na tectonosequência II, a bacia de Taubaté apresenta características de uma bacia do tipo “*pull-apart*”, porém, com uma forte componente distensiva. Corresponde a esta componente distensiva o fato determinante para que diversos autores afirmem que a bacia de Taubaté seja uma bacia do tipo Riffe, desmascarando o regime distensivo.

Desta forma as bacias do RCSB apresentam evoluções sedimentares contemporâneas e sem um comunicação lateral entre elas.

Embora a bacia de Taubaté seja muito estudada, muitas controvérsias ainda permanecem.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem a toda a equipe do GEDAP/UFRJ, e ao Programa de Recursos Humanos da ANP – PRH-18 (Departamento de Geologia / UFRJ), e demais profissionais que contribuíram para a realização deste trabalho.

7 Referências Bibliográficas

- Coimbra A.M., Riccomini C., Melo M.S. 1983. A Formação Itaquaquecetuba: Evidências de tectonismo no Quaternário Paulista. In: SBG/Núcleo São Paulo, 4º Simpósio Regional de Geologia, São Paulo, Atas: 253-266
- Fernandes F.L 1993. Arcabouço estrutural e evolução da bacia de Taubaté – SP. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado, 147p.
- Ferrari A.L., Riccomini C. 2002. Evolução Tectônica do Graben da Guanabara – RJ. In: SBG, Congr. Brás. Geologia, 41, João Pessoa, Anais, 1:380.
- Macedo J.G. 1990. Evolução Tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes. In: Raja Gabaglia G.P. Milani E.J. (eds) Origem e Evolução das Bacias Sedimentares, PETROBRAS, p. 361-376
- Marques A. 1990. Evolução Tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. B.Geoci. PETROBRAS, Rio de Janeiro, 4(3): 253-262.
- Mitchum Jr. R.M., Vail P.R. 1977. Seismic Stratigraphic and Global changes of Sea Level, Part 7: Seismic Stratigraphic interpretation procedure. In: Payton, C.E. (ed.) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration, Tulsa, AAPG – Memoir#26: p. 135-143.
- Mitchum Jr. R.M., Vail P.R. 1977. Seismic Stratigraphic and Global changes of Sea Level, Part 6: Stratigraphic Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences. In: Payton, C.E. (ed.) Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration, Tulsa, AAPG – Memoir#26: p. 117-133
- Molinari L. 2003. Interpretação Sismoestratigráfica da Bacia de Taubaté – SP. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Monografia de Graduação, 65p.
- Riccomini C. 1989. O Rift Continental do Sudeste Brasileiro. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 243p.
- Silva H.T.F. 1993. The Lower cretaceous tectonosequence of the Recôncavo basin , Northeast Brazil – Sediment accumulation rates and depositional history of the most prolific hydrocarbon-producing rift basin in Brazil. AAPG Bulletin, pages 312-313 (Abstract)