

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

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DE BACIAS *RIFT* – UMA ABORDAGEM GENÉTICA NA BACIA DE CAMAMU-ALMADA, BRASIL

Juliano Kuchle¹, Michael Holz², Ademilson Fagundes de Brito³, Ricardo Perez Bedregal³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – ANP/PRH12. Av. Bento Gonçalves, 9500, prédio 43127, s. 110b. E-mail: julianokuchle@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – ANP/PRH12 – pesquisador CNPq. michael.holz@ufrgs.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – COPPE/LAB2M

Resumo – A seção *rift* das bacias marginais brasileiras, é considerada atualmente um fator fundamental para a existência de reservas petrolíferas no território brasileiro. O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da análise estratigráfica desenvolvida na Bacia de Camamu-Almada, onde foi dado um enfoque à seção *rift*. Para a obtenção de um arcabouço estratigráfico, foi utilizada a base conceitual da estratigrafia de seqüências como sistemática de análise. Porém, a análise somente ocorreu após uma adaptação, pois os conceitos relacionados a fatores controladores da sedimentação da estratigrafia de seqüências foram desenvolvidos para margens passivas, onde os principais fatores são a eustasia e a tectônica. Em bacias *rift*, ao contrário, a tectônica é o principal controlador, e a eustasia é um fator subordinado. Juntamente com padrões de evolução estrutural de bacias *rifts*, faz com que elas apresentem uma evolução distinta de outras bacias. Assim, esta adaptação de conceitos estabeleceu teorias como a relação de contemporaneidade entre subsidência e o soerguimento, e a relação de atraso temporal entre a criação de espaço e o aporte sedimentar relacionados a um mesmo pulso tectônico. O estabelecimento destes conceitos propiciou o desenvolvimento de um arcabouço estratigráfico inovador, genético e integrador, que por fim, ofereceu um importante incremento para exploração petrolífera brasileira.

Palavras-Chave: Camamu-Almada, *rift*, estratigrafia de seqüências, sistemas petrolíferos

Abstract – The rift phase of the Brazilian margin sedimentary basins, is actually considered a prime factor to the development of petroleum reservoirs of the Brazilian territory. The scope of this study is to present the results of the stratigraphic analysis developed at the Camamu-Almada Basin, where the rift section was focused. To obtain a stratigraphic framework, the conceptual basis of the sequence stratigraphy was used. However, the analysis only occurred after an adaptation, because the concepts of sedimentary control factors of the sequence stratigraphy was developed for passive margin basins, where the prime factors are eustasy and tectonic. In rift basins, tectonic is the prime factor, and the eustasy is only a subordinate factor. Together with the structural evolution patterns, it makes that rift basins to have a distinct evolution pattern. Therefore, these conceptual adaptation established theories as the contemporaneity between subsidence and uplift, and the delay relationship between space creation and sedimentary supply linked to an tectonic pulse. The establishment of these concepts led to the development of an innovative, genetic and integrative stratigraphic framework, which offers an fundamental increment to the petroleum exploration in that basin.

Keywords: Camamu-Almada, rift, sequence stratigraphy, petroleum systems

1. Introdução

A Bacia de Camamu-Almada, situada na costa central do Estado da Bahia (figura 01), faz parte do conjunto de bacias da margem leste associadas com a quebra do Gondwana e subsequente abertura do Oceano Atlântico. Durante o Cretáceo, por toda a margem leste desenvolveu-se um sistema de *rifts* continentais devido a este esforço de ruptura, gerando nestas bacias um pacote sedimentar fundamental para a formação dos sistemas petrolíferos da margem brasileira.

Possuindo uma seção *rift* bastante expressiva, a Bacia de Camamu-Almada tem se tornado nos últimos anos, uma bacia estratégica na exploração de petróleo, fato este evidenciado no Round6 (2004) de licitações da ANP, onde mais da metade da bacia encontra-se sob concessão, e na proposta de áreas em estudo do Round7 (2005), onde praticamente toda a bacia encontra-se sob concessão ou oferecida.

Este estudo tem por objetivo apresentar uma proposta de arcabouço estratigráfico para a seção *rift* da Bacia de Camamu-Almada baseado nos conceitos da estratigrafia de seqüências, fornecendo assim, um estudo genético integrador e dinâmico, onde o registro sedimentar é traduzido em termos de variáveis condicionadoras da deposição e a relação entre estas variáveis pode fornecer importantes dados relacionados à evolução geológica da bacia. Porém, a estratigrafia de seqüências foi desenvolvida para análises em bacias do tipo margem passiva, onde o principal fator controlador da deposição é a eustasia, praticamente ausente em bacias *rift*. Assim, foi necessária uma adaptação e desenvolvimento de conceitos que pudessem explicar a evolução de uma bacia *rift* em termos de variáveis controladoras da sedimentação.

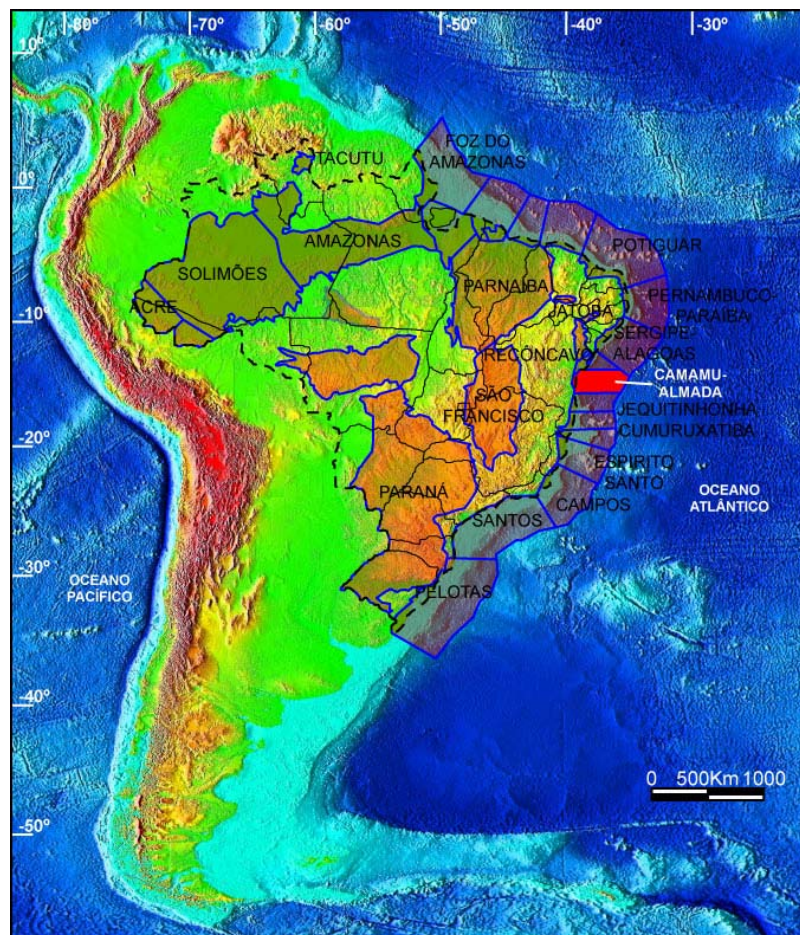


Figura 01: Localização da Bacia de Camamu-Almada na margem leste do Brasil, tendo como limite norte a Bacia do Recôncavo e Jacuípe, e limite sul a Bacia de Jequitinhonha. Modelo numérico de terreno gerado a partir da base de dados ETOPO2-GLOBE (2002).

2. Base de dados e arcabouço estratigráfico da Bacia de Camamu-Almada

Este estudo foi desenvolvido inserido no *Projeto Caracterização, Mapeamento e Análise Quantitativa dos Sistemas Petrolíferos da Bacia de Camamu-Almada* (2002), solicitado pela Agência Nacional do Petróleo e realizado pelo LAB2M-COPPE/UFRJ. A base de dados disponibilizada foi o set de dados sísmicos e de poço do BDEP (Banco de Dados de Exploração e Produção) da ANP (figura 02a), totalizando 460 linhas sísmicas e 80 poços, sendo que foram

selecionados 47 poços para análise estratigráfica completa, onde foram observadas sucessões faciológicas, padrões de raio-gama, padrões de empilhamento e análise estratigráfica integrada. Nos dados sísmicos foi realizado o mapeamento sísmico regional na íntegra.

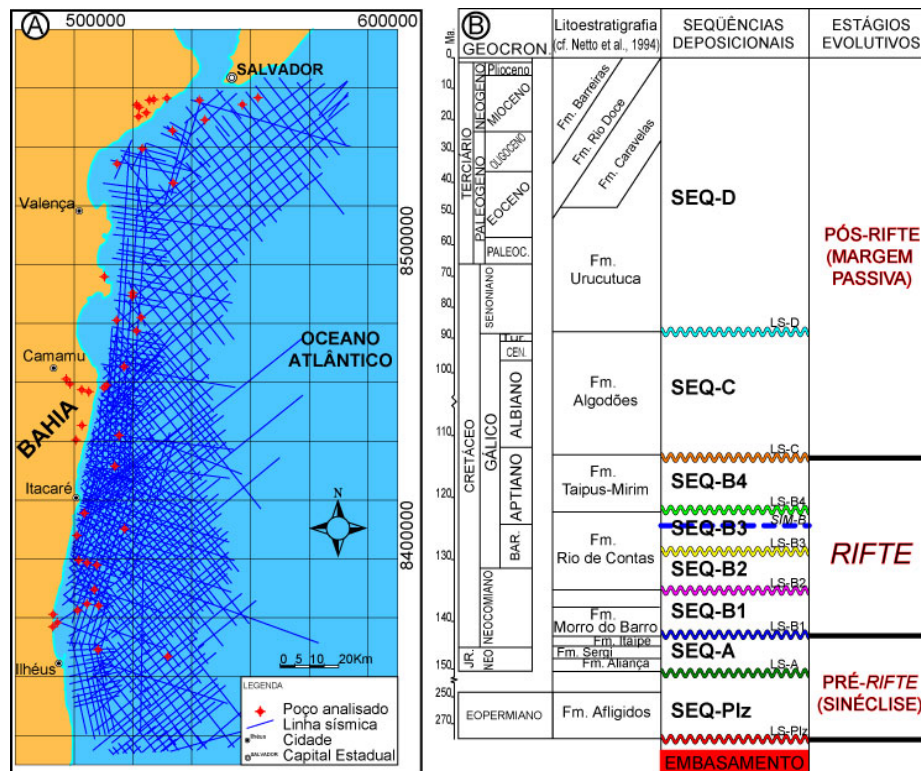


Figura 02 (a): Base de dados utilizada para este estudo, totalizando 460 linhas sísmicas e 47 poços, fornecidos pela ANP para o projeto Camamu-Almada (LAB2M-COPPE/UFRJ, 2002); (b): Arcabouço estratigráfico mapeado na Bacia de Camamu-Almada, com seqüências deposicionais de 2ª ordem para as fases pré- e pós-*rift*, e seqüências de 3ª ordem para a fase *rift*.

Foram identificadas três seqüências deposicionais de segunda ordem na Bacia de Camamu-Almada (figura 02b): uma seqüência *pré-rift* (SEQ-A), uma seqüência *sin-rift* (SEQ-B), uma seqüência *pós-rift* associada a plataformas carbonáticas (SEQ-C) e uma seqüência *pós-rift* associada a um sistema de margem passiva (SEQ-D).

A sequência *sin-rift* (SEQ-B) foi analisada em detalhe, onde foram identificadas 4 sequências deposicionais de terceira ordem, denominadas de SEQ-B1 a SEQ-B4 (figura 03). A seção *rift* (SEQ-B) apresenta um estilo estrutural e deposicional característico de fase *rift*, onde são observados falhamentos normais (sintéticos e antitéticos - figura 03), lístricos, falhas sin-sedimentares com crescimento de seção, e altos estruturais internos á bacia, gerando sistemas de meio-graben (figura 04).

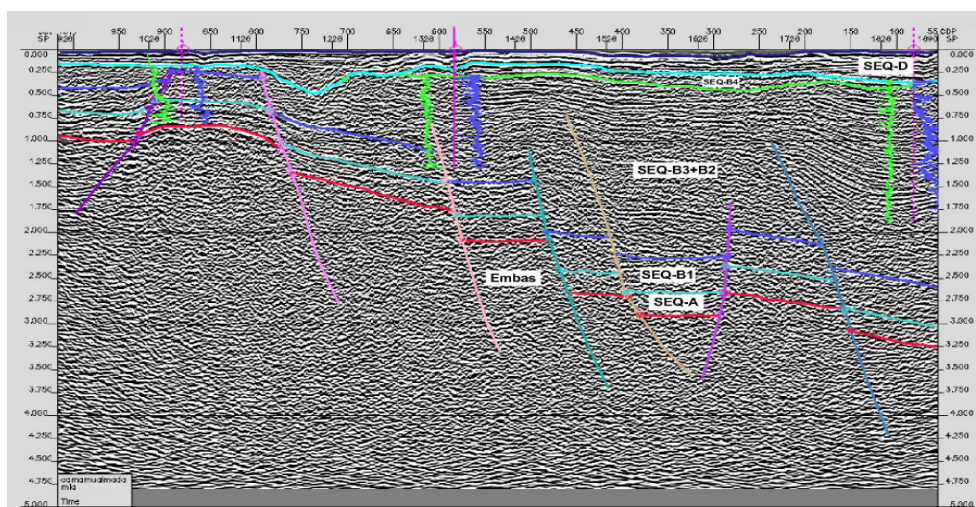


Figura 03: Linha sísmica de orientação *dip*, na região plataformal norte da bacia de Camamu-Almada, apresentando a estruturação da seção *rift* da bacia.

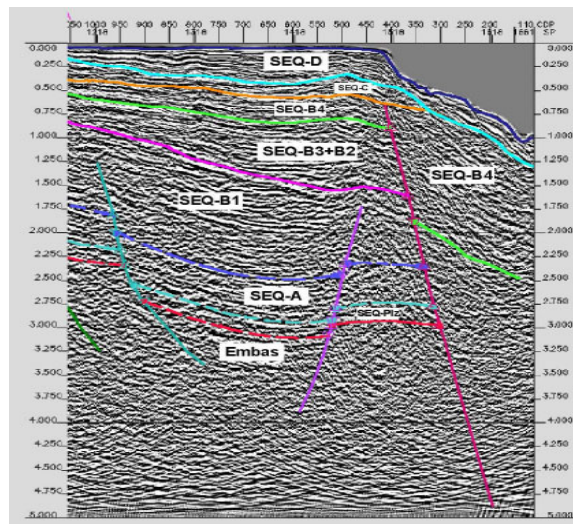


Figura 03: Linha sísmica de orientação *dip*, na região plataforma central da bacia de Camamu-Almada, apresentando a estruturação da seção *rift* da bacia.

3. Análise das variáveis controladoras da sedimentação

Basicamente, a sedimentação em bacias *rift* é controlada primordialmente pela tectônica, que atua tanto como criadora de espaço de acomodação, como agente de erosão a partir de soerguimentos e rotações de blocos). Secundariamente, o aporte sedimentar e o clima (diretamente relacionados) são outros fatores influentes, tendo por fim, a eustasia como um fator bem subordinado e secundário. Assim, foram estabelecidas duas teorias de relações de variáveis e fatores de controle da sedimentação em bacias *rift*: (1) a contemporaneidade entre subsidência e soerguimento, e (2) a relação temporal entre a criação de espaço e o aporte sedimentar.

3.1. Relações de contemporaneidade entre subsidência e soerguimento

Uma bacia *rift* possui a tectônica como controlador primário da criação de espaço de acomodação. E os eventos tectônicos ocorrem na forma de pulsos, quase que instantâneos no tempo geológico. E um mesmo pulso tectônico pode ter duas assinaturas diferentes: (1) a criação de espaço no *hangingwall*, e (2) o soerguimento de área-fonte no *footwall*, os quais ocorrem simultaneamente, conforme mostrado no modelo evolutivo da figura 04a.

Assim, um pulso tectônico gera ao mesmo tempo, um evento erosivo no *footwall*, e criação de espaço no *hangingwall*, tendo por consequência, um registro sedimentar que apresenta um pacote depositado no *hangingwall* correlato temporalmente a um evento erosivo no *footwall*. Esta correlação espacial e temporal de eventos deposicionais síncronos com eventos erosivos torna o detalhamento estratigráfico de uma bacia *rift* extremamente complexo, conforme é observado por Bosence (1998) e retratado no evento #4 da figura 04a.

3.2. Relações temporais entre a criação de espaço e o aporte sedimentar

Em um sistema de meio-graben (figura 04b, evento #1 e #2), um único pulso tectônico atua tanto como gerador de espaço de acomodação (subsidência no *hangingwall*) quanto gerador de erosão (soerguimento no *footwall*). Porém, a criação de espaço no registro geológico é instantânea, e retratada na forma de eventos de inundação (ocorrência de folhelhos lacustres - figura 04b, evento #2). O soerguimento do *footwall* também é instantâneo, mas devido ao período necessário para a reorganização da rede de drenagem, a erosão e o transporte do sedimento levam algum tempo até ele ser depositado na bacia (figura 04b, evento #3 e #4), sendo que o aporte sedimentar principal, associado ao pulso tectônico, chegará com um atraso em relação a este pulso tectônico (figura 04b, evento #5), fazendo com que no registro geológico ocorra uma sucessão de sedimentos finos associados a uma inundação (criação de espaço) e somente após esta sucessão, ocorram sedimentos grossos relacionados á chegada atrasada do pulso de sedimentação associado (figura 05).

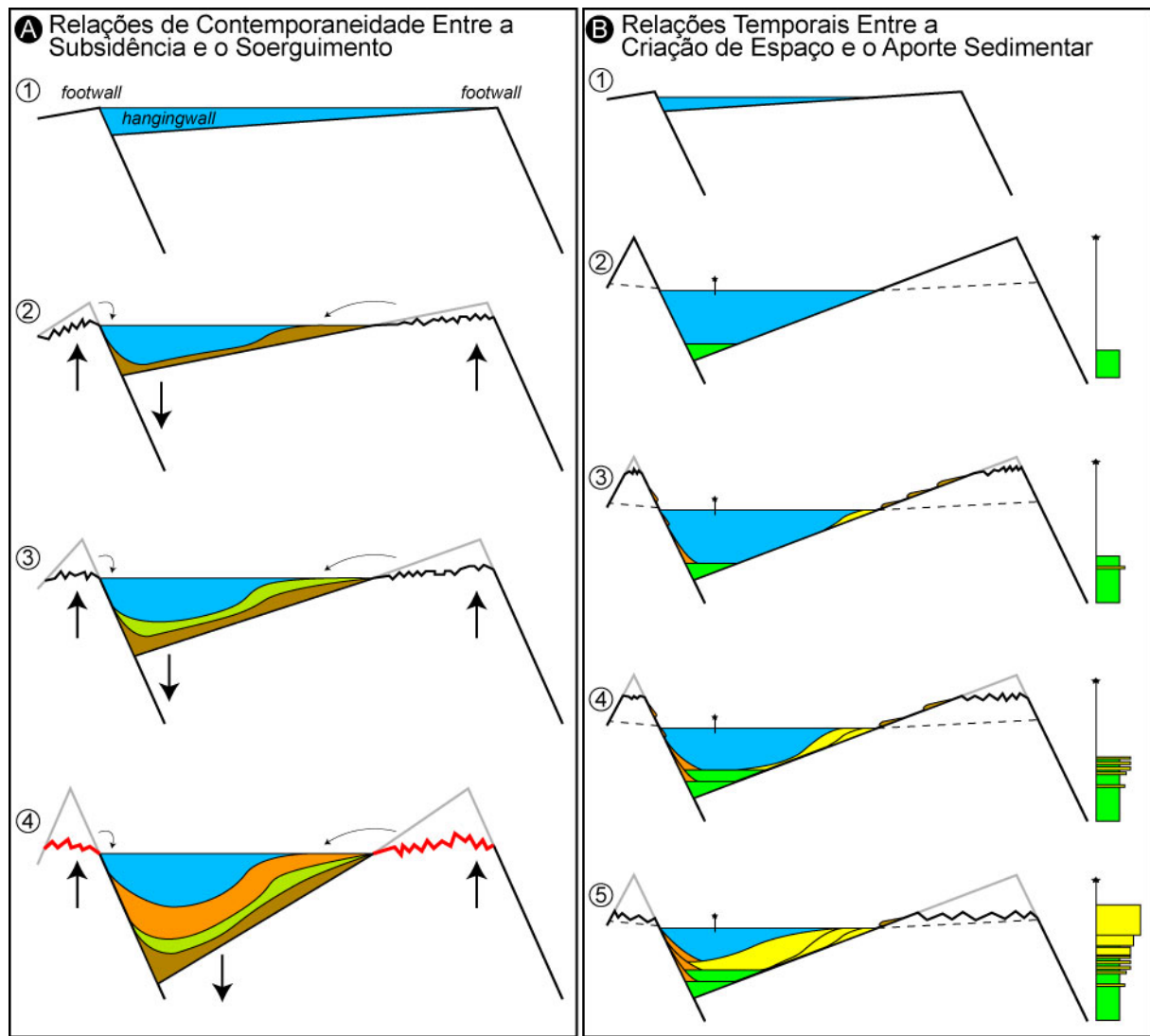


Figura 04 (a): Modelo evolutivo apresentando a relação entre soerguimento no *footwall* e subsidência no *hangingwall* devido a um pulso tectônico; e conseqüentemente, a deposição de um pacote sedimentar no *hangingwall*, associado temporalmente a uma erosão lateralmente adjacente no *footwall*; (b): Modelo evolutivo apresentando a relação entre a criação de espaço devido a um pulso tectônico e a chegada atrasada do aporte sedimentar relacionado a este pulso.

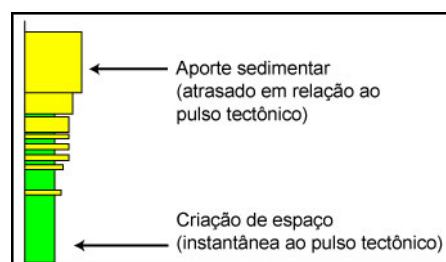


Figura 05: Relação atrasada no registro sedimentar entre a criação de espaço e o aporte de sedimentos, devido a um pulso tectônico.

4. Principais conclusões

Portanto, com o estabelecimento dos modelos de criação e destruição de espaço simultâneos, juntamente com os modelos de sedimentação atrasada, foi possível estabelecer um arcabouço estratigráfico para a Bacia de Camamu-Almada com importantes interpretações genéticas e dinâmicas acerca da história evolutiva da fase *rift* da bacia.

Inicialmente, as discordâncias limítrofes das seqüências de terceira ordem da fase *rift* são explicadas não como eventos erosivos, e sim eventos de *bypass* sedimentar, onde o aporte de sedimentos (atrasado) é muito superior ao espaço criado (em um momento onde já se encerrou o pulso tectônico), ou seja as discordâncias estariam associadas a eventos de não-deposição por total preenchimento da bacia associados a rotações dos sistemas de meio-graben.

Sob outro aspecto, foram aplicados os conceitos de Tratos Tectônicos, desenvolvidos por Prosser (1993), onde são mapeados padrões de empilhamentos associados a tratos de sistemas tectônicos, de uma maneira semelhante aos tratos de sistemas geométricos associados a variações eustáticas propostos por Posamentier *et al.* (1988). Assim, foram mapeados (figura 06) um Trato Tectônico de Início de *Rift*, representando o evento inicial de geração do *rift*, onde grandes quantidades de espaço são geradas e preenchidas; um Trato Tectônico de Clímax de *Rift*, onde se acentua a criação de espaço, e o aporte não apresenta resposta (devido ao atraso), gerando uma fase de bacia faminta, e por fim, um Trato Tectônico de Preenchimento Final do *Rift*, onde o aporte sedimentar atrasado chega na bacia, durante o Aptiano, fazendo com que as calhas do *rift* sejam totalmente preenchidas e ocorra um extravasamento de sedimentos, retratando uma fase *sag*, com deposição de evaporitos já retratando o final da fase *rift* e a ocorrência das primeiras incursões marinhas no *locus* deposicional. Juntamente, pode ser observada na figura 06, a relação entre o pulso tectônico e o aporte sedimentar, sempre com um atraso relacionado.

Esta abordagem genética é considerada inovadora na pesquisa de exploração petrolífera brasileira, e a apresentação de seus resultados ao contratante (ANP) e posterior divulgação para as empresas interessadas na exploração da Bacia de Camamu-Almada foi responsável por um importante enfoque de interesses e incremento nos investimentos relacionados a rodadas de licitações na presente bacia. Os modelos aqui apresentados encontram-se em plena aplicação em diversas outras bacias brasileiras, obtendo resultados muito completos e esclarecedores, juntamente com uma boa integração com outras sistemáticas de análise, tais como sismoestratigrafia, análise de métodos potenciais, sedimentologia, petrografia e geoquímica orgânica, fornecendo novas e avançadas caracterizações dos sistemas petrolíferos abordados.

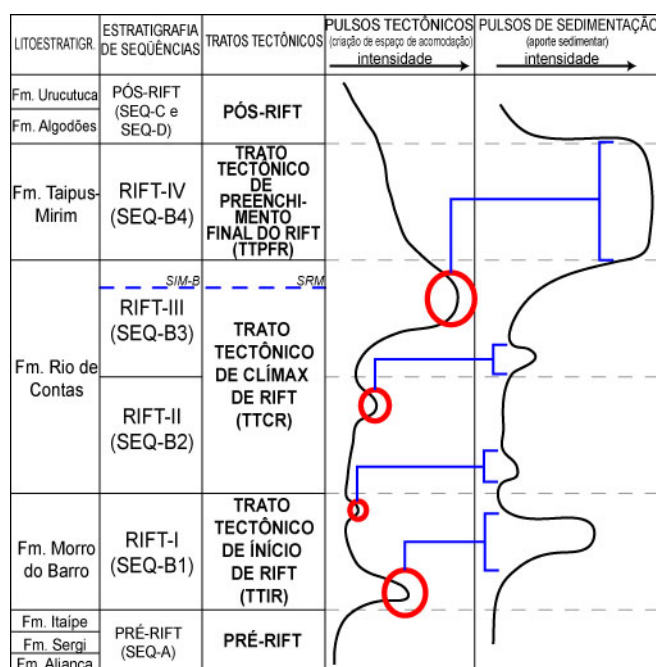


Figura 06: Proposta de arcabouço estratigráfico, estabelecimento de tratos tectônicos e relação de curvas de pulso tectônico e aporte sedimentar para a Bacia de Camamu-Almada.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo, pelo fomento à pesquisa de exploração brasileira, na forma dos projetos de análise de bacias (convênio UFRJ-COPPE/ANP), e pelos programas de formação de recursos humanos (em específico ao PRH12, convênio UFRGS/ANP), e também pela liberação dos dados para plena publicação. M.H. agradece ao CNPq por bolsa de produtividade em pesquisa 302666/04-4.

6. Referências

- BOSENCE, D.W.J. 1998. Stratigraphic and sedimentological models of rift basins. In: PURSER, B.H. & BOSENCE, D.W.J. Sedimentation and Tectonics of Rift Basins: Red Sea - Gulf of Aden. Chapman & Hall, London. 630p. 1998.
- POSAMENTIER, H.W.; JERVEY, M.T. & VAIL, P.R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition I – conceptual framework. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.; ST. C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (Eds.) Sea-level changes: an integrated approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 42, 407 p. 1988.
- PROSSER, S. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. In Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy (Ed. Williams, G.D. & Dobb, A.) Geological Society Special Publication No. 71, pp 35-66. 1993.