

MAPEAMENTO ESTRATIGRÁFICO DE BACIAS RIFTE A PARTIR DE PADRÕES DE EMPILHAMENTO E SEUS SIGNIFICADOS GENÉTICOS

Juliano Kuchle (UFRGS/ANP-PRH12), Michael Holz (IG-UFRGS), Claiton Marlon dos Santos Scherer (IG-UFRGS), Flavio Fernandes (PGT), Ricardo Perez Bedregal (LAB2M-COPPE/UFRJ)

julianokuchle@yahoo.com.br

A seção rifte cretácea das bacias da margem brasileira é fundamental para a formação dos sistemas petrolíferos brasileiros, pois é considerada o principal gerador, compreende importantes reservatórios e seu regime estrutural condicionou a formação de trapas e rotas de migração. Atualmente, com o enfoque direcionado à seção rifte, novos dados estão sendo adquiridos, como poços profundos, que atingem a seção rifte pré-sal, novos levantamentos sísmicos 2d e 3d, e dados de geoquímica e métodos potenciais que fornecem um suporte mais consistente à interpretação geológica. Desta forma, a base teórico-conceitual utilizada também vem evoluindo, e já incorporou os conceitos genéticos da estratigrafia de seqüências, fornecendo assim modelos e interpretações geológicas vinculadas a variáveis controladoras da deposição e evolução da bacia, e conseqüentemente, obtendo arcabouços muito mais precisos e consistentes.

A evolução geológica de bacias rifte é diretamente vinculada aos eventos tectônicos ocorrentes, pois eles são os responsáveis pela geração de espaço de acomodação e dos eventos erosivos, e eles podem ocorrer concomitantemente na evolução da bacia. Por conseqüência, pacotes deposicionais são correlacionados temporalmente com discordâncias. Já no preenchimento, é observado que as diversas rotas de entrada de sedimento na bacia apresentam comportamentos distintos. Isso ocorre devido ao atraso no aporte oriundo da margem flexural e borda axial, pois a erosão e transporte levam um período no tempo geológico até disponibilizar material para depositar na bacia, enquanto que o soerguimento da falha de borda fornece material instantaneamente, na forma de fandeltas e leques de fundo. Assim, em um evento evolutivo genético de uma bacia rifte, ocorrem padrões de empilhamento distintos, dependendo da porção da bacia a ser analisada.

Desta forma, a correlação direta e indiscriminada de padrões de empilhamento e seus vínculos com nível de lago ou variação do espaço de acomodação não fornecem uma correlação cronoestratigraficamente correta, pois como afirmado, o mesmo padrão de empilhamento não ocorre temporalmente em toda a bacia. Assim, faz-se necessário realizar uma correlação detalhada e embasada em conceitos genéticos claros que possibilitem uma correta análise estratigráfica e mapeamento de unidades genéticas em bacias rifte.

O presente trabalho propõe uma sistemática de mapeamento de unidades baseada nos conceitos da estratigrafia de seqüências adaptada para a execução em bacias rifte conforme as variáveis condicionantes acima citadas, e como base de estudo apresenta dados estratigráficos e seções geológicas exemplificadoras de seções rifte de bacias da margem brasileira e sistema de riftes interiores geneticamente relacionados.

Palavras-chave: rifte, análise estratigráfica, Cretáceo

1. INTRODUÇÃO

Com a estabilização dos conceitos da estratigrafia de seqüências na base multidisciplinar de análise de bacias sedimentares, a caracterização dos padrões de empilhamento, determinação de superfícies-chave e mapeamento de discordâncias e seqüências deposicionais tornou-se o *mainstream* da análise estratigráfica. Porém, estes conceitos foram desenvolvidos exclusivamente para margens passivas, onde o controle eustático é existente, senão dominante (Posamentier et al., 1988 e Van Wagoner et al., 1990). Desta forma, a estratigrafia de seqüências pode ser utilizada para o seqüenciamento estratigráfico de sucessões sedimentares em bacias do tipo rifte, porém sua aplicação requer uma adaptação dos conceitos e métodos ao conjunto de variáveis condicionadoras e controladoras da deposição e preservação dos sedimentos em riftes. Assim, esta adaptação de conceitos é apresentada no presente estudo, onde as variáveis controladoras são caracterizadas, suas relações são observadas e um modelo de correlação e mapeamento de unidades estratigráficas geneticamente relacionadas é proposto, juntamente com dois estudos de caso, um na Bacia do Recôncavo e outro na Bacia de Cumuruxatiba.

2. BASE DE DADOS

O presente estudo é o resultado integrado de diversos projetos de pesquisa envolvendo universidades e empresas vinculadas à área de geologia do petróleo. Com a integração destes projetos, a base de dados compreende a análise estratigráfica da seção rifte cretácea das bacias de Sergipe-Alagoas, Camamu-Almada, Recôncavo, Tucano, Jequitinhonha, Cumuruxatiba, Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas. Para a

apresentação de modelos teórico-conceituais e métodos, foram escolhidas duas áreas-chave como estudos de caso, porém as propostas de mapeamento aqui apresentadas refletem a análise estratigráfica e mapeamento das bacias citadas.

3. VARIÁVEIS CONTROLADORAS DA SEDIMENTAÇÃO EM BACIAS RIFTE

Em bacias rifte, a tectônica é a principal variável controladora, pois ela determina a deposição (na forma de criação de espaço) e a erosão (destruição de espaço). Subordinadamente, o aporte sedimentar e o clima influenciam nos padrões deposicionais, mas a eustasia é inexistente, pois os riftes continentais (caso abordado) não apresentam influências marinhas.

3.1 Contemporaneidade entre erosão e deposição

Os eventos deposicionais em uma bacia rifte são controlados pela tectônica, na forma de um evento considerado instantâneo no tempo geológico denominado pulso tectônico. O pulso tectônico tem a capacidade de criar espaço de acomodação (que possibilita a deposição) e ao mesmo tempo destruir espaço (gerar erosão), pois em um rifte, onde a geometria geral da bacia é na forma de um meio-gráben, o pulso tectônico age na forma de uma rotação de bloco, fazendo um movimento descendente no *footwall*, criando espaço, e concomitantemente, gera um movimento ascendente no *hangingwall*, criando uma erosão. Desta forma, os eventos deposicionais ocorrem contemporâneos a eventos erosivos laterais em um meio-gráben, caracterizando uma relação de contemporaneidade entre erosão e deposição (Figura 01-A).

3.2 O atraso do aporte sedimentar

Como visto anteriormente, um único pulso tectônico gera ao mesmo tempo erosão e deposição. Porém, o evento deposicional observado no registro sedimentar ocorre atrasado em relação ao seu pulso tectônico gerador. Isso ocorre porque o pulso é instantâneo no tempo geológico (gerando espaço no *footwall*, e soerguendo o *hangingwall* instantaneamente), mas a área disponível para erosão no *hangingwall* leva um período de tempo geológico até ser erodida, transportada e depositada no *footwall*, o qual teve uma criação de espaço instantânea ao pulso (Figura 01-B). Este processo foi inicialmente preconizado por Blair & Bilodeau (1988). Assim, um pulso tectônico é retratado na forma de uma rápida criação de espaço, sem um aporte efetivo, caracterizando uma sucessão deposicional de folhelhos lacustres profundos, sucedida por uma progradação da margem flexural/axial de arenitos e sedimentos grossos deltaicos e costeiros lacustres associados à progradação atrasada em relação ao pulso tectônico responsável (Figura 02). Desta maneira, eventos deposicionais oriundos da margem flexural e axial sin-pulso são retratados na forma de sedimentos finos de lago profundo, e eventos deposicionais pós-pulso são compostos por sedimentos grossos deltaicos e costeiros, associados ao aporte atrasado em relação ao pulso.

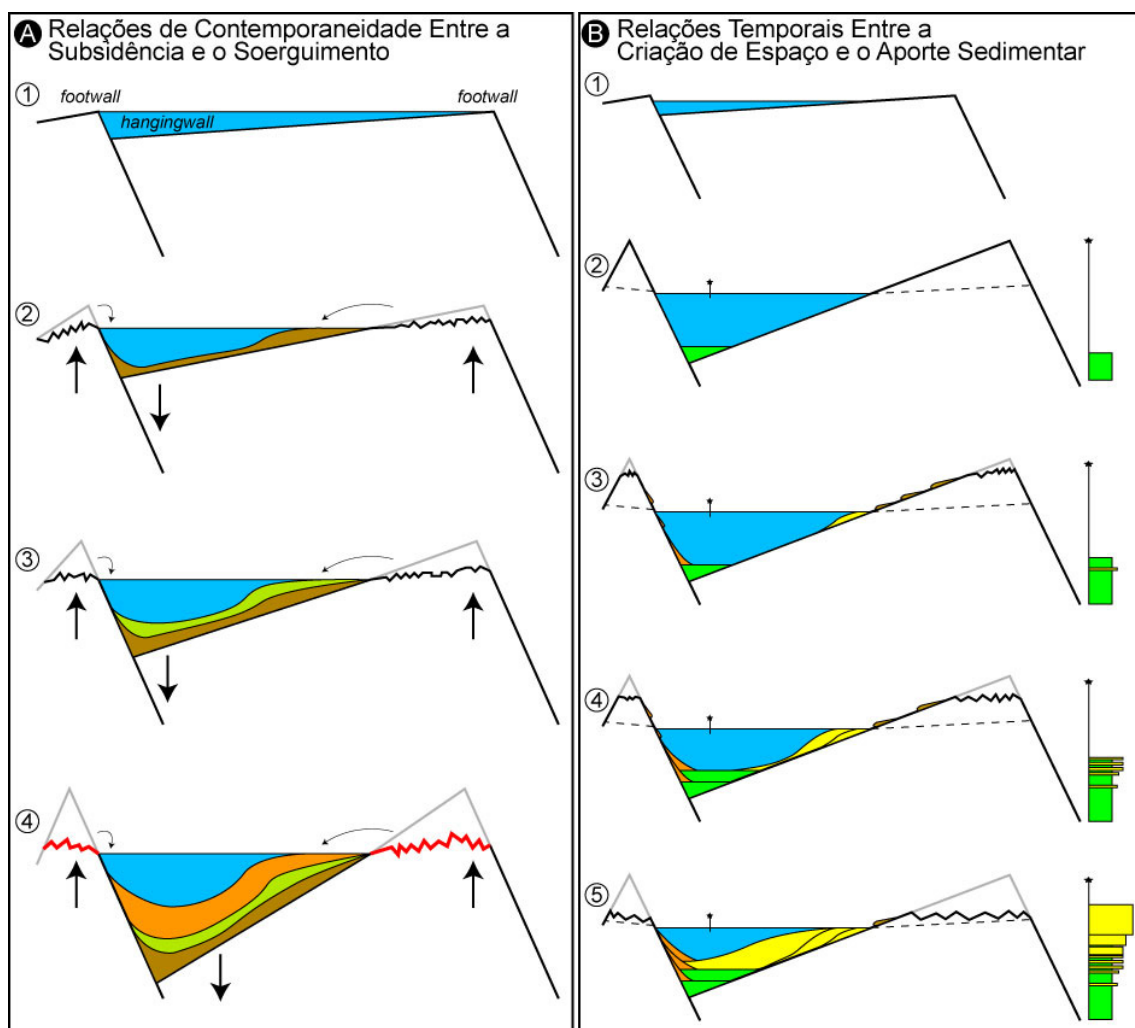


Figura 01(a): Modelo evolutivo apresentando a relação entre soerguimento no *footwall* e subsidência no *hangingwall* devido a um pulso tectônico; e conseqüentemente, a deposição de um pacote sedimentar no *hangingwall*, associado temporalmente a uma erosão lateralmente adjacente no *footwall*; (b): 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.

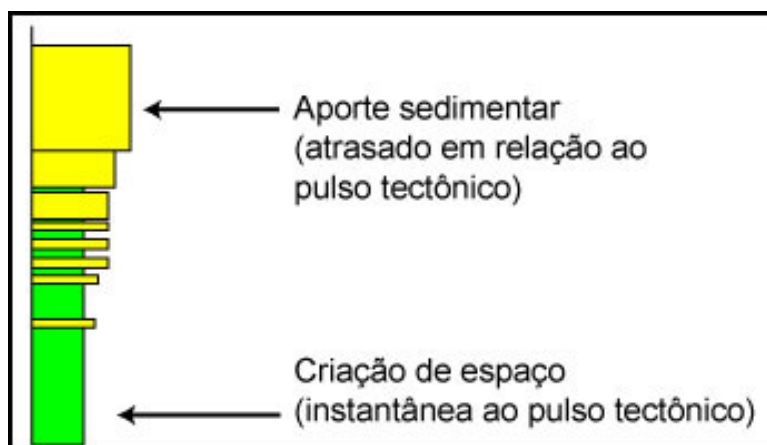


Figura 02: Relação atrasada no registro sedimentar entre a criação de espaço e o aporte de sedimentos, devido a um pulso tectônico.

4. O SIGNIFICADO GENÉTICO DOS PADRÕES DE EMPILHAMENTO

Com esta relação entre variáveis estabelecida, fica bem claro e sistemático o mapeamento de pacotes deposicionais oriundos da margem flexural e axial. Este mapeamento é composto por tratos de sistemas tectônicos, propostos por Prosser (1993), onde um determinado padrão de empilhamento retrata uma situação específica da bacia relacionada a uma curva de pulsos tectônicos (ao contrário da curva de variação eustática do modelo clássico da estratigrafia de seqüências de Posamentier et al., 1988). Porém, observou-se que existe uma importante contribuição sedimentar também oriunda da falha de borda, predominantemente composta por cunhas clásticas, geralmente conglomeráticas, associadas a aluviões continentais e fandeltas e turbiditos submarinos.

Este aporte via falha de borda responde ao contrário em relação à margem flexural, e isto se deve a proximidade que o depocentro do meio-gráben se encontra em relação à área do *hangingwall* a ser erodida. Assim, o período sin-pulso tectônico é retratado na forma de uma abrupta e expressiva entrada de sedimentos na falha de borda, e o período pós-pulso na forma de uma diminuição da área de espreadimento da cunha clástica e sua retrogradação.

Propõe-se então o modelo de tratos de sistemas tectônicos, adaptado de Prosser (1993) e contendo a relação dos padrões de empilhamento da margem flexural/axial e da falha de borda, apresentado na Figura 03.

O **Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rift** é marcado por diversos ciclos pouco espessos, onde o espaço é criado e sucessivamente preenchido, não retratando uma fase de intensa criação de espaço, formando assim, a fase inicial do rift.

O **Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rift** representa o evento sin-pulso tectônico, onde a taxa de criação de espaço supera o aporte marginal e gera retrogradações na margem flexural, enquanto que na falha de borda a cunha conglomerática avança abruptamente em direção ao depocentro, depositando uma expressiva espessura de sedimentos.

Por fim, o **Trato de Sistemas Tectônico de Preenchimento do Rift** representa o estágio pós-pulso, onde a sedimentação atrasada compõe uma cunha progradante na margem da bacia, enquanto que na falha de borda, devido ao êxtase tectônico, ocorre uma retrogradação da cunha conglomerática.

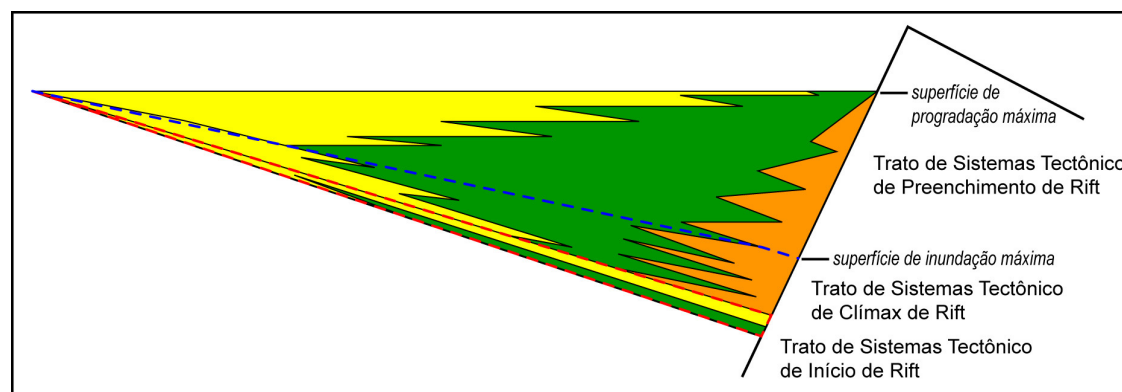


Figura 03: Modelo de Tratos de Sistemas Tectônicos proposto, com seus respectivos padrões de empilhamento e superfícies limitrofes.

Desta maneira, o mapeamento de unidades genéticas em uma bacia rifte deve ser realizado a partir dos padrões de empilhamento observados, porém não sozinho, pois cada trato tectônico admite padrões de empilhamento contrários em sua compreensão genética dependendo da região da bacia, tornando necessário o estabelecimento da geometria da bacia na análise estratigráfica e a relação dos paleoambientes que compõem os tratos de sistemas tectônicos. Em uma escala de detalhe, o mapeamento de unidades de um rift pode apresentar padrões de empilhamento de alta frequência relacionados a flutuações do nível do lago devido a mudanças climáticas (Scholz, 1995), compatíveis com os tratos de sistemas eustáticos clássicos.

5. RESULTADOS

Para exemplificar o modelo proposto, foram selecionadas duas áreas-chave, que apresentam um conjunto de dados passíveis de teste e compreensão do modelo.

5.1. Bacia do Recôncavo Norte

Foi elaborada uma seção estratigráfica NW-SE (Figura 04), onde a margem flexural encontra-se à esquerda e a falha de borda à direita. As unidades basais (Fms. Itaparica, Água Grande e Mb. Tauá) representam o Trato de

Sistemas Tectônico (TST) de início do Rifte, onde pouco espaço é criado e continuamente preenchido. É sucedido por um TST de Clímax do Rifte, onde os poços P1 e P2 marcam o evento retrogradacional da margem flexural, enquanto que o P3 marca o avanço da cunha clástica associada à falha de borda. Acima, um TST de Preenchimento do Rifte é marcado por uma progradação da margem flexural nos poços P1 e P2, e um recuo da cunha clástica no P3. Por fim, um novo pulso tectônico ocorre, registrando novamente uma retrogradação na margem flexural e avanço da cunha da falha de borda. O *datum* vertical dos poços é o nível do mar atual (retrata a situação geológica atual), e a correlação dos tratos tectônicos é condizente com as datações bioestratigráficas disponíveis.

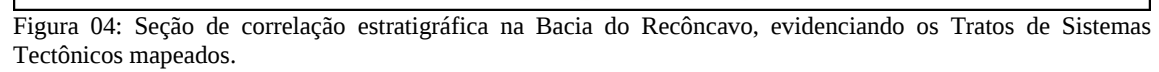
5.2. Bacia de Cumuruxatiba

Foi elaborada uma seção estratigráfica S-N (Figura 05), que bordeja o meio-gráben mapeado, tendo um sentido geral de margem flexural à esquerda e falha de borda à direita. É observada na base uma sucessão de eventos de inundação lacustres intercalados com preenchimentos marginais, retratando assim um TST de Início do Rifte. A partir de um momento, pacotes retrogradacionais de expressivas espessuras nos poços W3 e W4, juntamente com a progradação do W5 retratam o TST de Clímax do Rifte. Por fim, observa-se a retrogradação da cunha clástica do W5, juntamente com uma progradação nos poços W2, W3 e W4, compondo assim, o TST de Preenchimento do Rifte.

O *datum* vertical dos poços é a superfície de final do rifte (Andar Alagoas), que retrata sua geometria final, e a correlação dos tratos tectônicos é condizente com as datações bioestratigráficas disponíveis e pode ser observada e mapeada em seções sísmicas.

6. CONCLUSÕES

Como apresentado em ambos os estudos de caso, a evolução estratigráfica de bacias rifte é bem complexa, e a sedimentação compreendida na forma de variáveis é clara, precisa e genética de estabelecer pacotes sedimentares mapeáveis em seções riftes. Porém, não basta apenas reconhecer padrões de empilhamento e vincular estes com relações de lâmina d'água e tectônica, pois num mesmo trato tectônico podem ocorrer padrões de empilhamento diferentes dependendo da posição da análise na bacia. Assim, é fundamental reconhecer a geometria da bacia e estabelecer critérios genéticos para realizar a análise estratigráfica de uma bacia rifte, para fornecer assim produtos corretos, precisos e úteis.



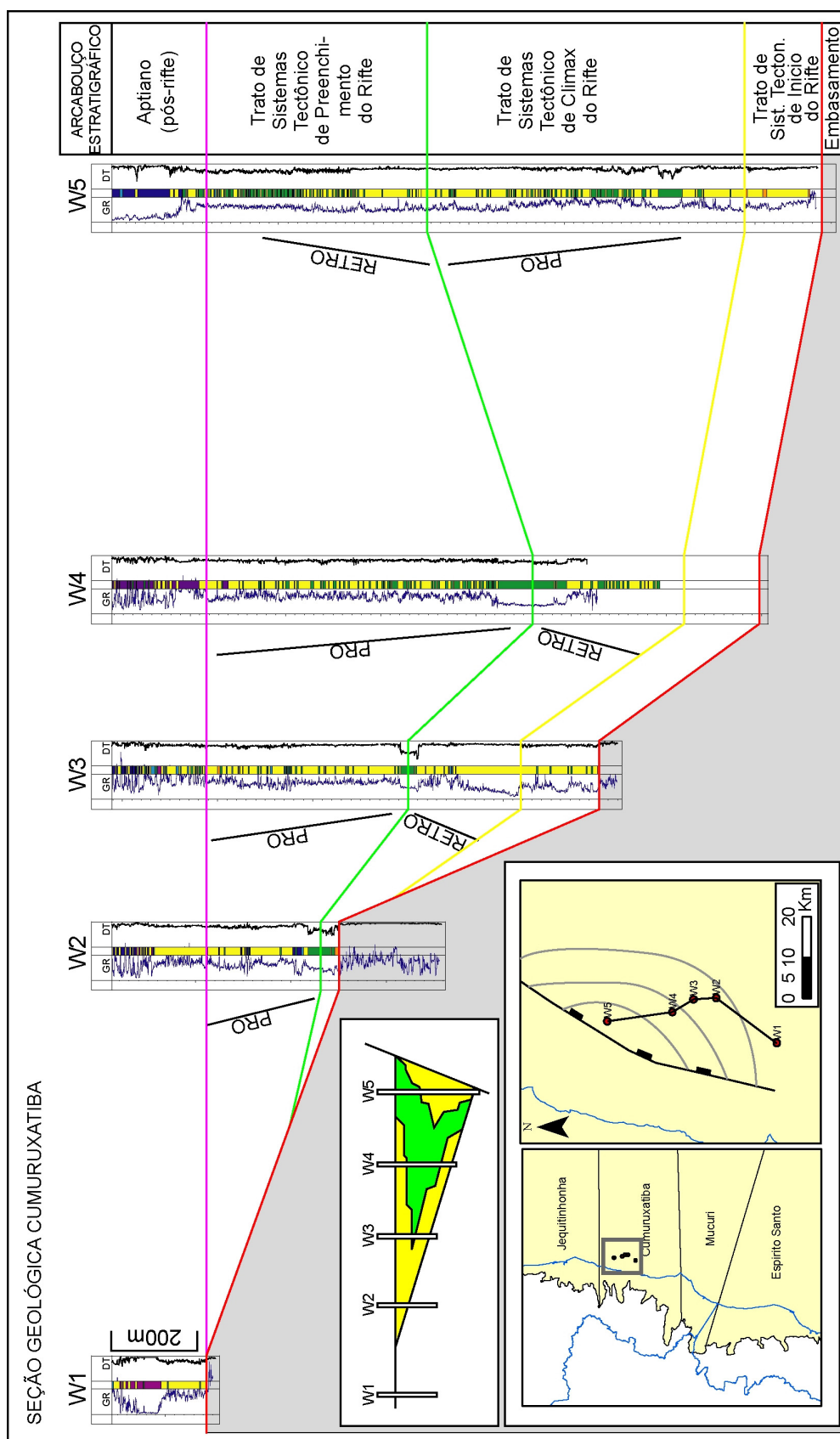


Figura 05: Seção de correlação estratigráfica na Bacia de Cumuruxatiba, evidenciando os Tratos de Sistemas Tectônicos mapeados.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem á ANP/UFRGS-PRH12 por bolsa de pós-graduação, CNPq por bolsa de produtividade, ANP/SDF, PETROBRAS e FINEP pelo fomento á pesquisa, e á SCHLUMBERGER pela cessão de licenças acadêmicas do software PETREL 2005.

7. REFERÊNCIAS

- BLAIR, T.C. & BILODEAU, W.L. 1988. Development of tectonic cyclothems in rift, pull-apart, and foreland basins, sedimentary response to episodic tectonism. **Geology**, v.16, n.6, p. 517-520.
- HELLER, P.L., ANGEVINE, C.L., WINSLOW, N.S. & PAOLA, C. 1988. Two-phase stratigraphic model of foreland-basin sequences. **Geology**, v.16, n.6, p. 501-504.
- 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.
- SCHOLZ, C.A. 1995. Seismic stratigraphy of an accommodation-zone margin rift-lake delta, Lake Malawi, Africa. **Geological Society, London, Special Publication**, n.80, p. 165-181.
- VAN WAGONER, J.C.; MITCHUM, R.M.; CAMPION, K.M. & RAHMANIAN, V.D. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. **AAPG Methods in Exploration Series**, n. 7.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.