



A Tectônica gravitacional na Bacia da Foz do Amazonas - Leque Submarino do Amazonas: estruturação de um sistema gravitacional sob influência de múltiplos níveis de destacamento *

Perovano, R.J.¹, Reis, A.T.^{2*}, Silva, C. G.³, Vendeville, B. C.⁴, Gorini, C.⁵, Ferreira, E.¹, Mattioda, J.⁶

¹ Bolsista de mestrado ANP/ Lagemar-UFF, ² Faculdade de Oceanografia /Uerj, ³ Departamento de Geologia/Lagemar-Uff, ⁴ Laboratoire PBDS UMR 8110 Université de Lille1, França, ⁵ Université Pierre&Marie Curie/Paris 6, França, ⁶ Bolsista CAPES de Apoio técnico, Lagemar-UFF * Projeto financiado pelo CNPq /CT-Petro e pelo Programa Capes-Cofecub

Copyright 2008, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III SimBGF, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

Gravitational deformation affects the entire Upper Cretaceous-Recent marine sequence at the offshore Amazon Mouth basin, including the Amazon deep-sea fan. A linked extensional-contractional system glided along weak overpressured shales, forming remarkable fold-and-thrust belts located along the margin down to about 3200 m water depths. Extension is characterized mainly by landward-dipping normal faults on the shelf/upper slope, whereas downdip contraction generated detached fold and thrusts. Gliding of the sedimentary section occurred along multiple detachment surfaces during different stages of the margin's evolution.

Introdução

A bacia marginal da Foz do Amazonas se destaca, entre outras, pela ocorrência de tectônica gravitacional (*gravity tectonics*) que afeta toda a seqüência marinha da bacia (Silva *et al.* 1991; Oliveira *et al.* 2004; Cobbold *et al.*, 2004; Oliveira 2005). Na tentativa de melhor compreender a evolução da tectônica gravitacional na bacia da Foz do Amazonas, e de responder algumas questões que permanecem em aberto, está em curso o projeto "Tectônica Gravitacional no Cone do Amazonas baseado em interpretação sísmica e modelagem experimental", financiado pelo CNPq/CT-Petro e integrado ao programa de colaboração Capes-Cofecub. O presente trabalho apresenta os resultados parciais do projeto em desenvolvimento, ao mesmo tempo em que discute novas perspectivas de trabalho.

Resultados: Análise estrutural da deformação

A análise estrutural de cerca de 50.000 km de linhas sísmicas de reflexão multicanal 2D e a modelagem experimental realizada (modelos analógicos em escala)

permitiram o mapeamento estrutural das estruturas decorrentes da tectônica gravitacional que afetam as seqüências sedimentares marinhas da bacia da Foz do Amazonas (Oliveira 2005; Oliveira *et al.*, 2005; Perovano, em curso): uma faixa proximal de falhamentos normais e cinturões compressivos distais (figuras 1 e 2). Enquanto as falhas normais são, *grosso modo*, mais homogêneas ao longo da margem, a geometria e complexidade dos cinturões compressivos é, ao contrário, bastante variável, seguindo as variações laterais de desenvolvimento dos depocentros da seqüência marinha da bacia. A estruturação é mais complexa para noroeste, onde se localizam os principais depocentros da margem (figura 3). Para o sudeste, o sistema compressivo se caracteriza por um par de falhas reversas, com menor impacto relativo no fundo submarino.

Além disso, a análise sísmica efetuada revela que processo de colapso gravitacional na bacia da Foz do Amazonas ocorre sob a influência de múltiplos níveis de destacamento (Perovano, em curso). O deslizamento da seção marinha da bacia ocorreu ao longo de distintas superfícies de destacamento e, aparentemente, em diferentes estágios de evolução da margem. Pelo menos três níveis estratigráficos distintos funcionaram em algum momento como níveis de destacamento, em escala regional ou local:

(1) um cinturão compressivo desliza sobre uma superfície basal de destacamento - a **superfície azul**. Este "evento" deformacional ocorre na parte central da bacia (figuras 2 e 5C) e se caracteriza por falhas normais proximais na região de plataforma continental, e por sucessivas falhas de cavalgamento em posição distal que compõem um único e contínuo cinturão de falhas e dobras (*thrust-and-fold belt*). De modo geral, as falhas normais listricas ancoradas sobre esta superfície de décollement se propagam em direção ao topo da coluna sedimentar (figura 2), enquanto que a frente compressiva, mal imageada sísmicamente, apresenta um arranjo aparentemente bastante complexo, provavelmente devido ao alto grau relativo de encurtamento da seção (figura 3). A compreensão deste evento deformacional representa a maior desafio para a pesquisa devido à insuficiência da resolução sísmica.

(2) a maior parte das estruturas extensionais e os mais notáveis cinturões de cavalgamento, que deformam as seqüências marinhas da bacia da Foz do Amazonas, deslizam sobre uma superfície intermediária de destacamento de expressão regional na margem - a **superfície verde** (figuras 2 e 5B). As falhas normais associadas ao nível de destacamento intermediário são, *grosso modo*, mais ativas e formam por vezes escarpas de falha. A geometria e complexidade dos cinturões compressivos é bastante variável, sendo mais complexo a noroeste (compartimento Noroeste), onde as estruturas exibem evidências de deformação mais contínua, ilustradas por sucessivas frentes de compressão que se recobrem parcialmente, resultante de maior encurtamento da seção geológica e formando bacias *piggy-back* (as feições compressivas estão presentes até cerca de 3200m de profundidade) (figuras 1 e 2). Em algumas porções, os cinturões estão soterrados ou resultam em menor relevo no fundo submarino. Ao longo de toda a zona de frente compressiva da margem, as falhas reversas, quando aflorantes, podem impactar significativamente o fundo submarino formando escarpas de falha de até cerca de 500 m de desnível morfológico (figura 2), a partir das quais processos de erosão retrogradacional podem remobilizar e transferir massas e fluxos sedimentares para porções mais distais da margem continental.

(3) O deslizamento gravitacional mais jovem ocorre sobre o nível de *décollement* mais superficial - a **superfície Amarela** (figuras 4 e 5A). Embora se trate de um nível estratigráfico regional, ele funciona como nível de destacamento apenas localmente, no extremo norte e extremo sul do Cone do Amazonas, onde a seção sedimentar apresenta menor espessura (cerca de 1s). Neste caso, as estruturas induzidas gravitacionalmente diferem bastante daquelas descritas acima e só estão presentes no extremo sudeste e noroeste da área, apenas a partir do talude (não há estruturas relacionadas a este evento na plataforma continental). A seção sedimentar deslizante sofre visível rotação ao longo da família de falhas proximais e translada gradiente abaixo, sem evidências de feições de encurtamento distal (ausência de dobramentos ou cinturões compressivos distais), sugerindo se tratar de um encurtamento incipiente (figura 4).

Modelos experimentais

Uma importante fase do presente projeto refere-se à simulação de modelos experimental realizados no *Laboratório de Modelagem Analógica* da Universidade de Lille 1, França, onde foi desenvolvido um dispositivo capaz de operar com injeção de fluidos a pressão controlada, e de simular a instabilidade gravitacional induzida por superpressurização de níveis argilosos, como ocorre na bacia da Foz do Amazonas/Cone do Amazonas e nas demais bacias da margem equatorial brasileira.

Nesta etapa de experimentação, os modelos analógicos não foram construídos com o objetivo de se reproduzir

todas as variáveis do ambiente geológico da bacia da Foz do Amazonas/Cone submarino. Os modelos construídos tiveram como objetivo a simulação de alguns dos parâmetros físicos envolvidos na tectônica gravitacional da área de estudo, como por exemplo, a presença de múltiplos níveis de destacamento e a variação na espessura das camadas rúpteis (camadas sedimentares) e sua influência no grau de deformação da seção. Assim, os modelos foram realizados simulando a ocorrência de deslizamento de seções sedimentares na presença de 2 níveis móveis superpressurizados. Os níveis móveis foram simulados por camadas de microbolhas de sílica de baixa porosidade (10 darcy), com de 0,5 cm de espessura; enquanto areias de alta porosidade (100 darcy) foram utilizadas para a simulação das camadas frágeis.

Os modelos realizados auxiliaram na compreensão de alguns aspectos do funcionamento mecânico do sistema gravitacional. Por exemplo, apesar das diferenças estruturais e dos diferentes graus de encurtamento observados ao final de cada modelo, um importante parâmetro mecânico que se repete nos modelos experimentais realizados diz respeito à distribuição espacial e à cronologia das estruturas compressivas. De modo geral, a deformação se inicia uma vez atingida a superpressurização calculada para se ultrapassar o coeficiente de resistência associado à espessura da seção de cada modelo. Mas no início da deformação, a primeira falha reversa se forma sempre numa posição distal dos sistemas; e à medida que o colapso gravitacional avança, as falhas reversas migram em direção montante do modelo (análoga à direção do continente no caso real) (figura 7).

Durante a execução dos modelos, observamos setores ou períodos de tempo onde o "stress" horizontal ao longo das 2 superfícies age desacopladamente e os níveis de *décollement* atuam separadamente; ou setores dos modelos ou períodos de tempo em que o nível de *décollement* superficial é deformado em compressão deslizando sobre a superfície basal.

Discussão e Conclusões

As pesquisas em curso apresentam uma série de resultados bastante instigantes, que abrem novas frentes de investigação ao introduzirem novos parâmetros à discussão de processos gravitacionais e suas seqüências tectono-sedimentares para a evolução de marges continentais passivas contendo níveis móveis superpressurizados, entre eles:

- i. **O reconhecimento da existência de múltiplos níveis de destacamento**, na bacia da Foz do Amazonas, amplia o desafio da compreensão sobre o funcionamento mecânico da tectônica gravitacional, ao introduzir séries de descontinuidades físicas sotopostas (superfícies de destacamento) que podem atuar mecanicamente de forma conjunta ou

desacoplada no espaço e no tempo, cujas implicações estruturais, e conseqüente zonação estratigráfica, necessitam ser analisadas e mais bem compreendidas;

- ii. **A relação espacial entre estruturas da tectônica gravitacional e feições de deslizamentos/fluxos de massa** mapeada na região, aponta para um padrão de seqüenciamento entre “pulsos” de deformação tectônica e eventos de instabilidade de fundo e subfundo submarino. Tais coincidências espaciais merecem melhor avaliação, dada a importância dos processos de remobilização e transferência sedimentar para a construção das margens.

Referências

- Cobbold, P. R., Mourges, R. & Boyd, K., 2004. Mechanism of thin-skinned detachment in the Amazon Fan: assessing the importance of fluid overpressure and hydrocarbon generation. *Marine and Petroleum Geology*, 21: 1013-1025.
- Oliveira, V., Reis, A. T. & Silva, C. G., 2004. Shale Tectonics and Structural Deformation on the Amazon Submarine Fan: Preliminary Results. Rio Oil & Gas Expo and Conference. Rio de Janeiro – RJ. p 111.
- Oliveira, V., 2005. A tectônica Gravitacional no Cone do Amazonas: Compartimentação Estrutural e Mecanismos Controladores. Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense – UFF. Dissertação de Mestrado. Niterói – RJ. 83 p.
- Perovano, R., em curso. Análise estrutural da tectônica gravitacional na bacia da Foz do Amazonas. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) - Universidade Federal Fluminense - UFF.
- Silva, S. R. P.; Maciel, R. R.; Severino, M. C. G., 1999. Cenozoic Tectonics of the Amazon Mouth Basin. *Geo - Marine Letters*, 18: 256 - 262.

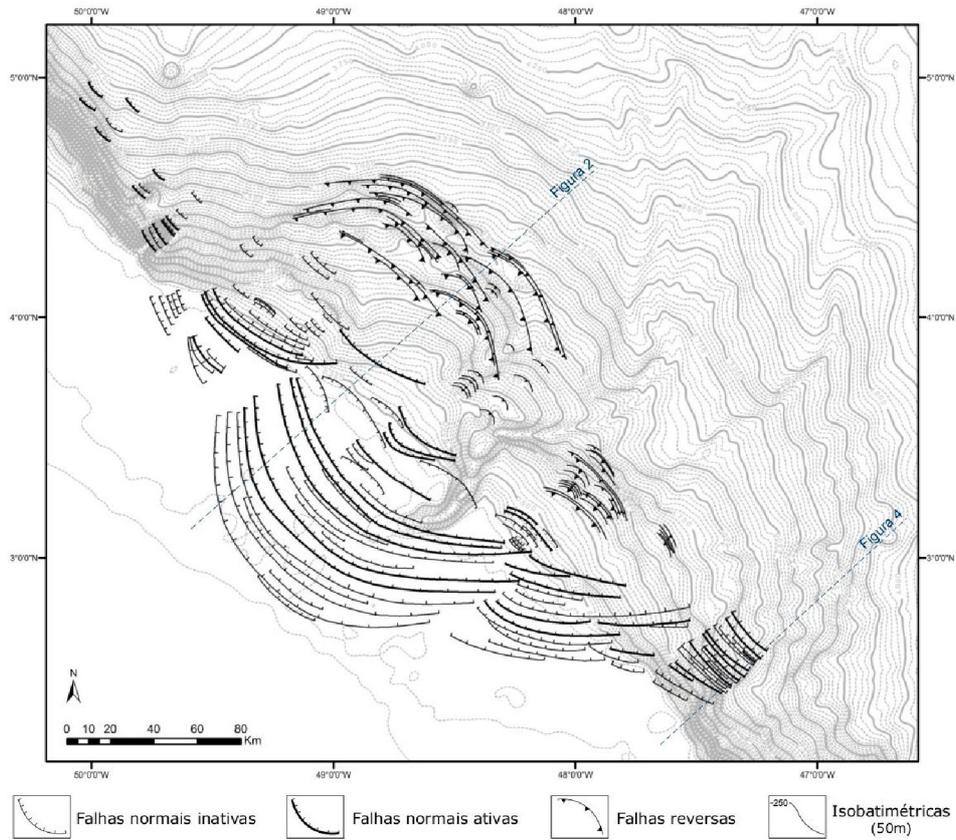


Figura 1: Mapa estrutural simplificado das estruturas da tectônica gravitacional da bacia da Foz do Amazonas.

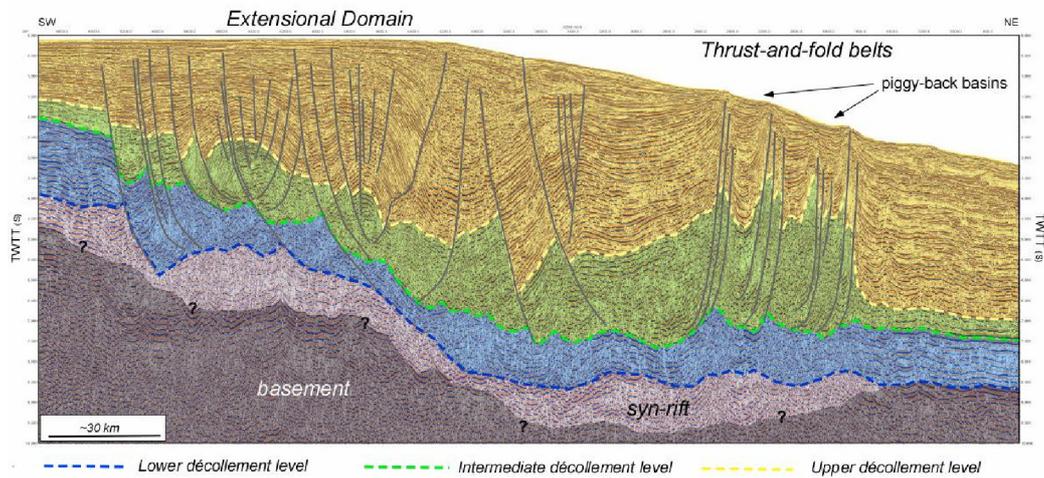


Figura 2: Linha sísmica no setor noroeste da bacia da Foz do Amazonas, ilustrando estruturas induzidas pela tectônica gravitacional, assim como os três níveis estratigráficos que podem atuar como superfícies de descolamento (horizontes Azul, Verde e Amarelo).

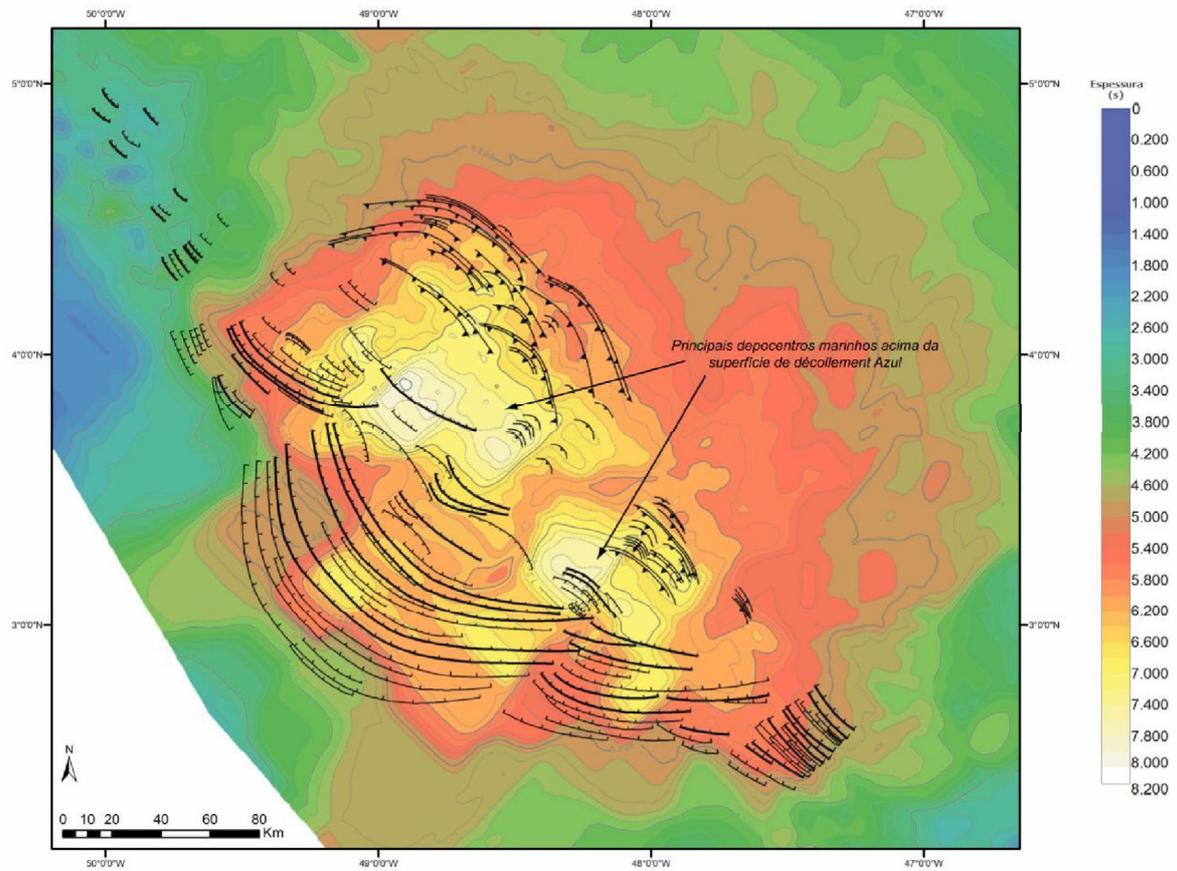


Figure 3: Mapa combinado de estruturas e de isôpacas da seqüência marinha da bacia da Foz do Amazonas (entre o horizonte estratigráfico Azul – nível basal de décollement e o fundo submarino).

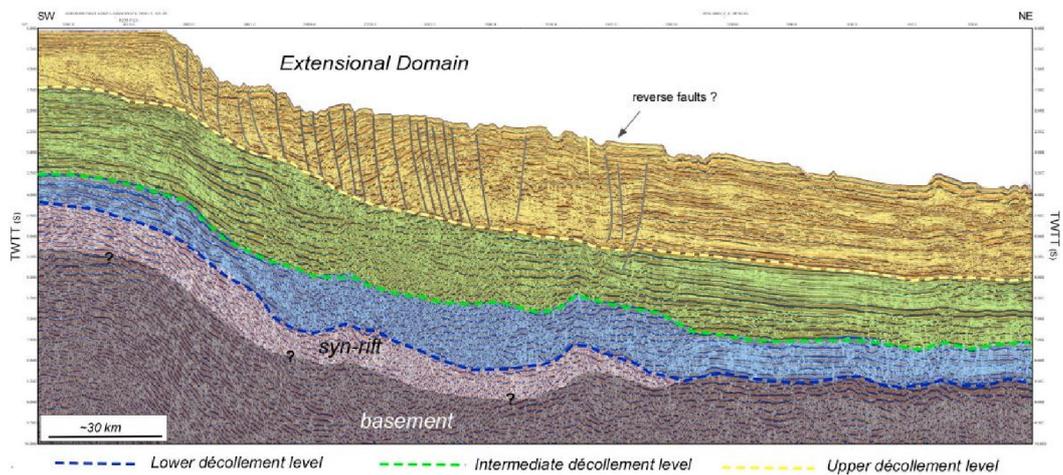


Figure 4: Estruturas extensivas no extremo sul da área de estudos, induzidas pelo nível de décollement mais superficial (nível Amarelo) da tectônica gravitacional na bacia da Foz do Amazonas.

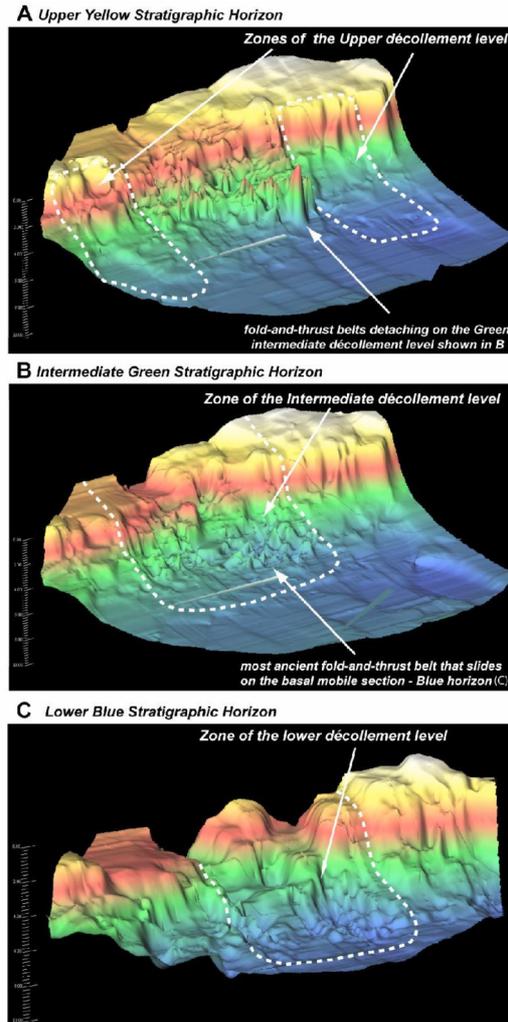


Figura 5: Morfologia 3D dos principais níveis estratigráficos que podem atuar como níveis de décollement na bacia da Foz do Amazonas. As linhas pontilhadas delimitam os domínios em que tais níveis estratigráficos atuam como superfície de destacamento.

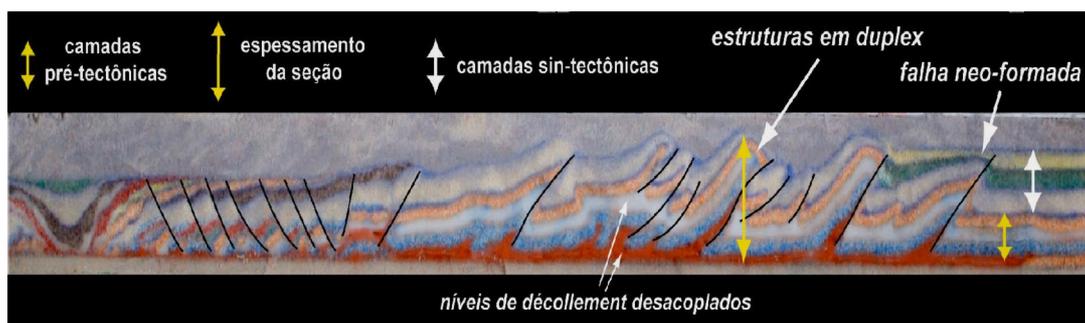


Figura 6: Vista lateral de um modelo experimental, realizado no Laboratório de Modelagem Analógica da Universidade de Lille 1-França, mostrando a zona proximal de falhas normais (à esquerda da imagem) e a zona compressiva distal formando uma única e ampla frente compressional.