

Estratigrafia sísmica da porção NW do Leque Superior do Amazonas.

Alberto Cruz (Lagemar-UFF), Antonio Tadeu dos Reis (Oceanografia-UERJ), Érika Araújo (Lagemar-UFF), Cleverton Guizan Silva (Lagemar-UFF), Christian Gorini (Université Pierre et Marie Curie-Paris 6), Rodrigo Perovano (Lagemar-UFF)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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 Upper Amazon Deep-sea Fan is strongly affected by families of normal faults and fold-and-thrust belts that detach along weak basal décollement levels. These structures are significantly more complex at the Northwest part of the upper fan, where a Northwestern Structural Compartment was defined. Seismic analysis of 2D multi-channel seismic and well data carried out in the present work provide evidences that the deposition of the fan stratigraphic succession in the Northwestern Structural Compartment took place between the Upper Miocene and the Upper Pleistocene under the influence of variable rates of sediment supply and variable rates of gravity-driven deformation. Three main stages of distinct patterns of structural and depositional interaction could be identified: stage 1 took place during the onset of the fan stratigraphic succession in the Upper Miocene (~10.5-5.3 My), associated to higher terrigenous sediment input, and is characterized by widespread downslope deposition with no evidence of noticeable structurally-conditioned depocenters, pointing rather to a quiescent gravity tectonic structural set; stage 2 comprises the fan deposition during the Pliocene (~5.3-2.6 My) concentrated in a few depocenters distributed close and along planes of main proximal normal faults and along the piggy-back basins developed on the distal fold-and-thrust belts. This stage points to an active syn-depositional structural set. Activation of this structural system may have been triggered by the increasing sedimentary loading exerted by the Pliocene deposition; finally, stage 3 concerns the Quaternary (~2.6-0.0 My) fan deposition and represents a stage of enhanced sediment supply organized as a much wider and continuous depocenter, involving most of the upper fan area between the normal faults and the distal fold-and thrust belts which act as an imposing topographic barrier since then. As a conclusion, the complex structural style of the Northwestern Structural Compartment observed today stems from stage 3 deposition and deformation that occurred during the Quaternary.

Introdução

O Leque Submarino do Amazonas (a partir daqui referenciado como Leque do Amazonas) é uma proeminente feição sedimentar localizada no extremo oeste da margem equatorial brasileira, na Bacia da Foz

do Amazonas (Fig. 1). Sua origem está relacionada a fases de soerguimento da Cordilheira dos Andes que, a partir do Mioceno Superior, resultaram na reorientação da direção de drenagem do rio Amazonas que passa a fluir para o Oceano Atlântico. O fornecimento de expressiva carga sedimentar permitiu a construção do espesso prisma sedimentar progradante de cerca de 10 km de espessura, que constitui o Leque do Amazonas (Silva *et al.*, 1999; Rimington *et al.*, 2000; Figueiredo *et al.*, 2010).

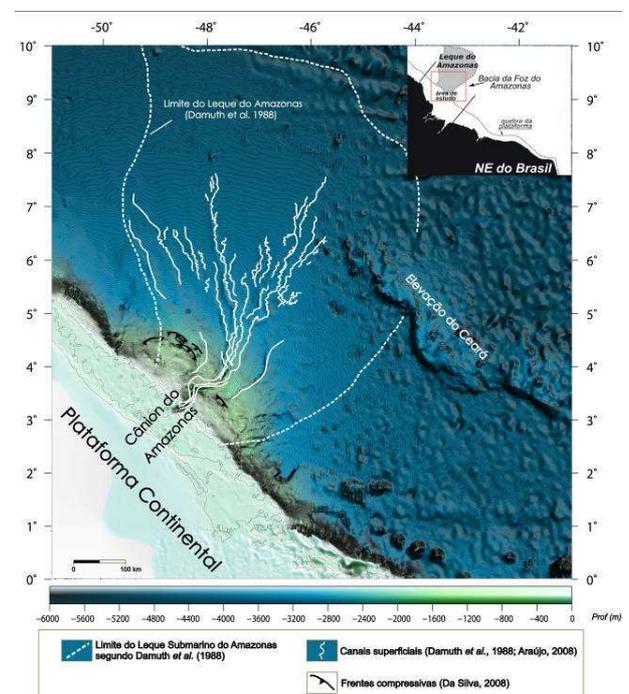


Figura 1 – Mapa batimétrico da Bacia da Foz do Amazonas mostrando a localização do Leque Submarino do Amazonas e a localização regional da área de estudos.

Diversos estudos abordam a evolução sedimentar do Leque do Amazonas. No entanto, estes estudos são, em sua maioria, baseados em dados sísmicos de alta resolução (que penetram no máximo cerca de 1 s), o que restringe a investigação aos pacotes sedimentares superiores do leque de idade quaternária (~ 800 m de espessura), compreendendo os depósitos turbidíticos de canais-diques marginais e múltiplos depósitos de transporte de massa (por ex., Flood & Piper, 1997; Piper *et al.*, 1997a; 1997b; Maslin & Mikkelsen, 1997; Lopez, 2001; Maslin *et al.*, 2005). Desta forma, a sucessão

estratigráfica do Leque do Amazonas, implantada desde o Mioceno Médio-Superior (Schaller, 1971; Brandão & Feijó, 1994; Silva *et al.*, 1999; Figueiredo *et al.*, 2010), tem sido pouco investigada (por ex., Araújo *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2010; Reis *et al.*, 2010).

Além disso, a Bacia da Foz do Amazonas é também afetada por fases deformacionais relacionadas à tectônica gravitacional (*gravity tectonics*). Esta modalidade de deformação resulta no deslizamento das sequências sedimentares Cretáceo-Recente da bacia, incluindo o Leque do Amazonas, sobre múltiplos níveis de descolamento basais (Perovano *et al.*, 2009; Reis *et al.*, 2010). A deformação de origem gravitacional forma um sistema estrutural constituído de um domínio extensional proximal, localizado na região de borda de plataforma-talude superior (falhas listricas normais), acoplado a um domínio compressional distal, localizado na elevação continental, constituído por falhas reversas agrupadas em frentes de dobramentos e cavalgamento. Este sistema divide-se em dois principais compartimentos estruturais: os chamados compartimentos estruturais NW e SE (Silva *et al.*, 1999; Cobbold *et al.*, 2004; Oliveira, 2005; Reis *et al.*, 2008; Perovano, 2008; Perovano *et al.*, 2009; Reis *et al.*, 2010). O Compartimento estrutural NW (região deste estudo) corresponde à província fisiográfica do Leque superior do Amazonas, caracterizada essencialmente pela presença do Canyon do Amazonas como sua principal feição axial; e cujo limite coincide com a localização do cinturão de dobramento a cerca de 2000m de profundidade.

Araújo *et al.* (2009) e Perovano *et al.* (2009) observaram que as feições típicas de um sistema turbidítico tais como canal-dique marginal só estão presentes no Leque do Amazonas a partir de regiões à frente do cinturão compressivo, o que corresponde ao leque médio de Damuth *et al.* (1988), sugerindo uma relação de controle da tectônica gravitacional sobre a arquitetura do leque. No entanto, as fases de construção sedimentar do Leque do Amazonas desde o Mioceno Superior não são conhecidas, nem foram, até o momento, analisadas no contexto dos eventos da tectônica gravitacional que envolve a deformação de sequências marinhas da ordem de milhares de metros de espessura (~10 km), englobando áreas de dimensões regionais da ordem de centenas de milhares de quilômetros quadrados (~45.000 km² na bacia da Foz do Amazonas segundo Perovano *et al.*, 2009).

Deste modo, o objetivo principal deste trabalho é o mapeamento das sequências sedimentares de uma parte do Leque Superior do Amazonas, localizada no compartimento estrutural NW, desde sua implantação até o Recente, com base em dados de sísmica multicanal 2D (Fig. 2) e dados crono-estratigráficos de poços exploratórios.

Metodologia

A metodologia baseia-se na interpretação sísmica e em dados crono-estratigráficos de poços de sondagem. A análise sísmica foi empreendida a partir de cerca de 20

linhas sísmicas de reflexão multicanal 2D (com penetração de até 13s) que recobrem o compartimento estrutural NW do Leque do Amazonas (Fig. 2). Estas linhas foram disponibilizadas pela empresa GAIA e pela Marinha do Brasil (Projeto LEPLAC). O projeto também contou com dados de 2 poços exploratórios disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), para calibragem crono-estratigráfica das seções sísmicas. Os dados sísmicos e os poços foram carregados no programa de interpretação sísmica *SMT Kingdom Suite®* para interpretação e calibração estratigráfica.

A base de dados batimétricos inclui dados globais de batimetria regional satelitária, obtidos através do ETOPO2 (Smith & Sandwell, 1997), além de dados batimétricos de mais alta resolução concentrados no Leque Superior do Amazonas, disponibilizados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).

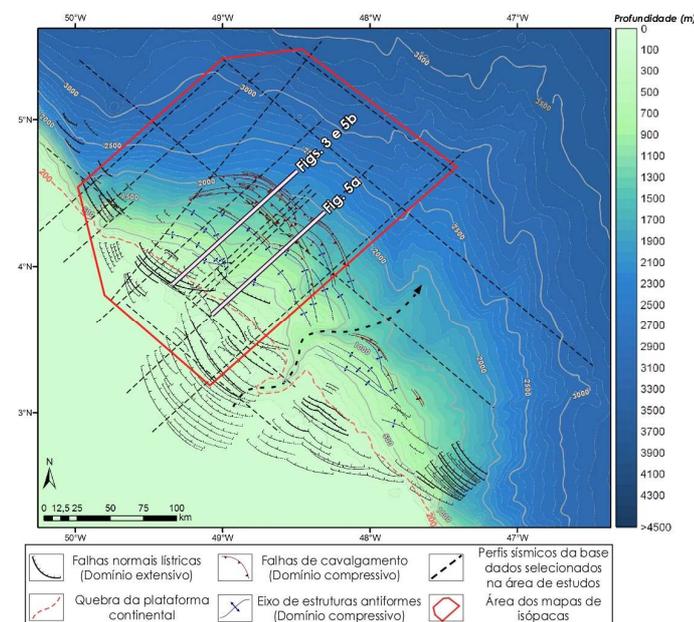


Figura 2 – Mapa batimétrico regional da Bacia da Foz do Amazonas com localização das linhas sísmicas disponíveis. Dados batimétricos regionais do ETOPO2 (Smith & Sandwell, 1997) e locais, no Leque Superior e Médio do Amazonas, fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, DHN-Marinha do Brasil..

Resultados

A interpretação das feições sísmicas foi realizada tendo como base o arcabouço estrutural já conhecido para a região do Leque do Amazonas (Perovano *et al.*, 2009; Reis *et al.*, 2010). Um perfil sísmico interpretado apresentado na figura 3 ilustra a análise sísmica empreendida, na qual é possível identificar as principais estruturas que caracterizam o arcabouço da tectônica gravitacional que afeta a região, segundo interpretação

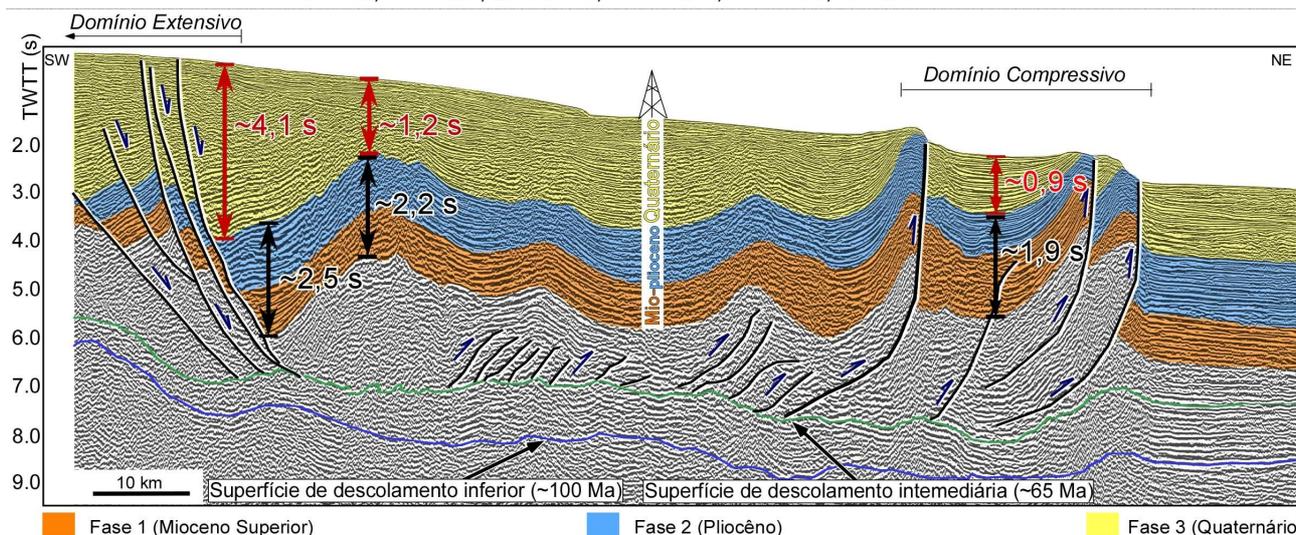


Figura 3 – Perfil sísmico da área de estudos com as principais fases interpretadas. De baixo para cima: **fase 1** (Mioceno Superior); **fase 2** (Plioceno); **fase 3** (Quaternário). A interpretação sísmica ilustra o espessamento de depocentros quaternários preferencialmente ao longo de planos de falhas normais. É possível notar que os depocentros sob a forma de cunhas sedimentares do período Quaternário são muito mais espessos que os do período Mio-Plioceno, enquanto os depocentros em piggy-back basins são mais expressivos durante o Mio-Plioceno. Localização do perfil na figura 2.

de Perovano (2008), Perovano *et al.* (2009) e Reis *et al.* (2010); no sentido plataforma-bacia, observa-se a presença de falhas normais lítricas (*domínio proximal extensivo*, representadas na figura 3), seguidas distalmente por falhas reversas (*domínio distal compressivo*, representadas na figura 3) integradas em frentes compressivas (*thrust belts*).

O principal poço utilizado para calibração crono-estratigráfica das linhas sísmicas encontra-se na região tectonicamente “calma” situada entre o domínio estrutural extensivo e o domínio estrutural compressivo, que caracteriza a porção NW do Leque do Amazonas (Fig. 3). A calibração do poço nas linhas sísmicas permitiu o reconhecimento e o traçado de seis horizontes estratigráficos (Fig. 3) na região, que definiram três principais fases aqui chamadas de: **fase 1** (Mioceno Superior); **fase 2** (Plioceno) e **fase 3** (Quaternário). O mapeamento sísmico de cada uma dessas fases na área de estudo permitiu a confecção de mapas de distribuição espacial (Fig.4) que permitiram uma visualização da sucessão sedimentar do Leque Superior do Amazonas, ao longo do *Compartimento Estrutural NW* da tectônica gravitacional que afeta o leque superior. Trata-se da primeira análise estratigráfica que engloba toda a sucessão sedimentar do Leque Submarino do Amazonas desde sua implantação no Mioceno Superior (~10,5 Ma).

A interpretação sísmica e dos mapas de isópacas evidenciam diferentes estilos de arquitetura sedimentar e etapas de construção estratigráfica do Leque do Amazonas ao longo do Mioceno Superior-Quaternário na área de estudos. As principais diferenças dizem respeito à distribuição espacial de cada intervalo estratigráfico (ou sequência sísmica) considerado, e à relação entre espessura sedimentar do intervalo estratigráfico dentro e fora da zona estruturada (compartimento NW) que compreende a porção NW do Leque Superior do Amazonas. Uma discussão mais detalhada da evolução

tectono-sedimentar da área de estudos é apresentada abaixo, subdividida nas 3 fases principais.

Fase 1: esta fase representa o período de implantação da própria sucessão estratigráfica do Leque do Amazonas durante o Mioceno Superior (~10,5-5,3 Ma). Nesta fase, a sedimentação do leque distribui-se mais homogênea na região do atual *Compartimento Estrutural NW* (fase 1 na figura 4), indicando uma dispersão sem a presença de obstáculos importantes gradiente abaixo, e logo, de zonas de retenção sedimentar (depocentros) importantes na região. Ela parece corresponder também a uma fase incipiente de deformação gravitacional na área de estudos. Esta inferência se deve à distribuição sedimentar mais homogênea nesta fase, depositada a taxas de aporte relativamente mais baixas (aqui estimadas em ~0,19 m/ka).

Fase 2: esta fase refere-se à deposição sedimentar ocorrida durante o Plioceno (~5,3–2,6 Ma). Nesta fase, é possível notar variações de espessura mais significativas, através do desenvolvimento de depocentros principalmente ao longo dos planos de falha normal e, secundariamente, ao longo das *piggy-back basins*, do *Compartimento Estrutural NW* (fase 2 na figura 4). Esta arquitetura deposicional indica uma clara mudança no padrão de dispersão sedimentar, com a imposição de uma morfologia variável que induz a captura de fluxos sedimentares para múltiplas sub-bacias isoladas, estruturalmente criadas ao longo de todo o *Compartimento Estrutural NW*. Desta forma, a fase 2 representa provavelmente uma intensificação da deformação gravitacional e o início do estabelecimento do arcabouço estrutural que caracteriza o atual *Compartimento NW*. A reativação das falhas normais do domínio extensional, e o consequente encurtamento da seção sedimentar e soergimento de cinturões de dobramentos e cavalgamento, reflete provavelmente o aumento da sobrecarga sedimentar representada pela

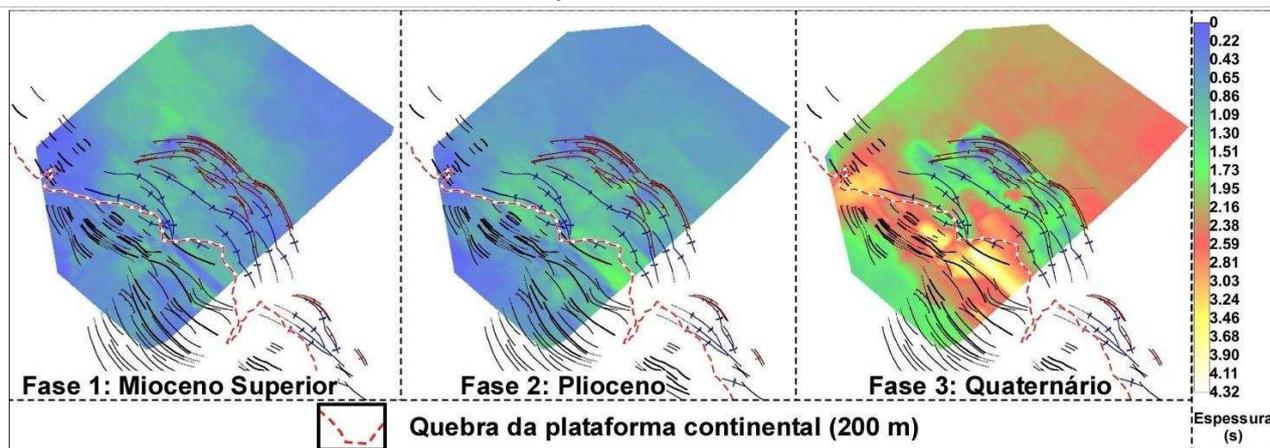


Figura 4 - Mapas de isópacas ilustrando as 3 fases de desenvolvimento do Leque Submarino do Amazonas. Fase 1 - Mioceno Superior (~11-5,3 Ma): Implantação do Leque do Amazonas, com distribuição sedimentar mais homogênea; Fase 2 - Plioceno (~5,3-2,6 Ma): Aumento da taxa de aporte sedimentar e início da retenção sedimentar mais acentuada num incipiente Compartimento Estrutural NW; Fase 3 - Quaternário (~2,6-0,0 Ma). Principal fase de crescimento do leque com marcada retenção sedimentar no Compartimento Estrutural NW.

deposição nesta fase (taxas de aporte aqui estimadas em ~0,48 m/ka). O aumento consequente da sobrecarga sedimentar provavelmente atuou como fator de desequilíbrio gravitacional e disparo e reativação das estruturas pré-existentes da tectônica gravitacional.

Fase 3: esta fase, ocorrida durante Quaternário (~2,6-0,0 Ma), representa a principal etapa de crescimento do Leque do Amazonas, a julgar pela espessura observada das sequências sedimentares. Esta fase é marcada por variações de espessura significativas, e também pelo desenvolvimento dos principais depocentros no *Compartimento NW* da tectônica gravitacional (fase 3 na figura. 4). Além disso, esta fase de crescimento do leque difere das anteriores por sua localização dos depocentros preferencial ao longo dos planos de falhas normais mais proximais (Fig. 4). Esta morfologia teria sido resultado de um padrão de dispersão sedimentar controlado pelos planos de falha normal, com fluxos convergindo para o domínio extensivo da tectônica gravitacional, onde os principais depocentros se localizam, e depocentros secundários são significativamente menos importantes. Esta fase também representa a etapa deformacional mais intensa na região do *Compartimento Estrutural NW*, ocorrida durante o Quaternário (~2,6-0,0 Ma), que se deve, provavelmente, a um novo aumento nas taxas de aporte sedimentar (aqui estimadas em ~1,47 m/ka). Desta forma, dois aspectos estruturais dos depocentros podem ser ressaltados: primeiramente, são pouco significativos os depocentros ao longo das *piggy-back basins*, indicando tratar-se de áreas elevadas, com soerguimento mais homogêneo e contínuo, restringindo a dispersão sedimentar; além disso, os depocentros principais, de direções gerais NW-SE, são mais amplos, interconectados, e alongados, localizados preferencialmente numa ampla região entre o domínio extensional e o domínio compressivo distal. Esta distribuição, e suas espessuras, indica a existência de falhas normais ativas com forte movimento do bloco superior (rejeito) durante a deposição desta sequência, e de cinturões compressivos mais fortemente deformados, causando impacto morfológico capazes de atuar

regionalmente como eficiente barreira à dispersão sedimentar. Além disso, o mapa de isópaca do período Quaternário (fase 3 na figura 4) evidencia que o depocentro principal da sequência é muito mais desenvolvido (amplo) na porção SE da área, que em sua porção NW onde há um conjunto de anticlinais mapeados por Perovano *et al.* (2009) (Fig. 5). A influência estrutural dos anticlinais é restrita à distribuição das sequências quaternárias, indicando tratar-se de estruturais sin-deposicionais e, logo, de deformações ativas durante o Quaternário. A mais intensa deformação durante o Quaternário é aqui considerada como a principal responsável pelo arcabouço estrutural da tectônica gravitacional tal como observado nos dias de hoje.

Conclusões

O presente trabalho apresenta pela primeira vez a delimitação de toda a sucessão estratigráfica do Leque do Amazonas, na porção NW do leque superior, desde sua implantação no Mioceno Superior (~10,5 Ma segundo Figueiredo *et al.*, 2009). O Trabalho apresenta também uma análise tectono-sedimentar relacionando os diferentes estilos arquiteturais das sequências do leque com diferentes fases de deformação estrutural do *Compartimento NW* estratigráfica

Fase 1 - esta fase é concomitante à implantação do Leque do Amazonas (Mioceno Superior, ~11,6-5,3 Ma) e corresponde a uma fase incipiente de deformação gravitacional, sem grandes deformações, de tal forma que a base estratigráfica do leque se distribui homoganeamente na área de estudos;

Fase 2 - marcada pelo início da ativação das estruturas extensivas e compressivas durante o Plioceno (~5,3-2,6 Ma), resultando em grandes variações na espessura das

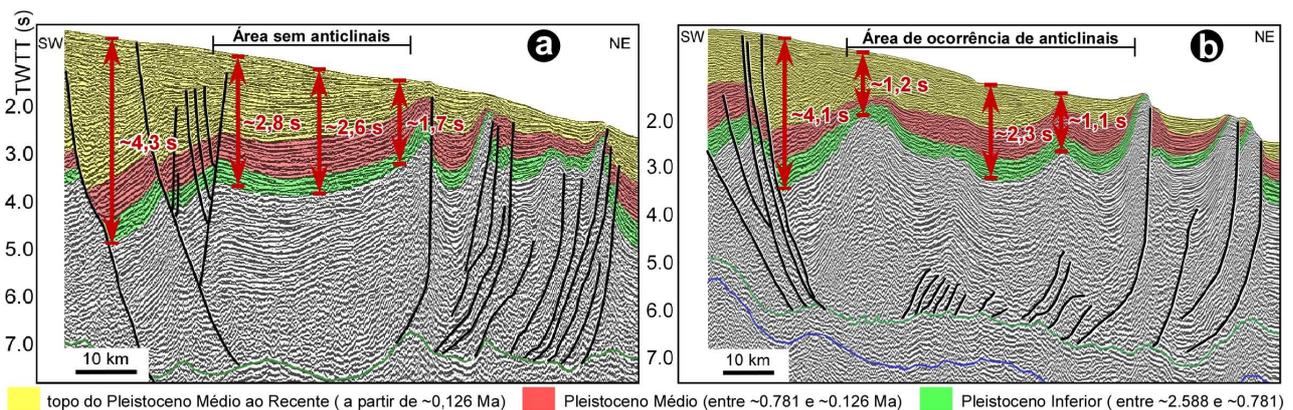


Figura 5 – Perfis sísmicos, nas porções SE (a) e NW (b) da área de estudo, ilustrando a relação entre desenvolvimento de estruturas anticlinais e espessura das sequências quaternárias (fase 3). Na porção SE, onde não há estruturas anticlinais, formam-se depocentros que se estendem até as proximidades do domínio compressivo. Na porção NW, as sequências apresentam suas maiores espessuras restritas às proximidades dos planos de falhas normais e se tornam muito menos espessas ao longo das estruturas anticlinais. Localização na figura 2.

sequências do leque no *Compartimento NW*, organizados numa série de depocentros isolados ao longo dos planos de falha normal e das *piggy-back basins* que compõem o arcabouço do *Compartimento Estrutural NW*

Fase 3 - esta fase, ocorrida durante o Quaternário-Recente (~2.6-0,0 Ma), corresponde à etapa de maior deformação e à deposição das sequências mais espessas do leque no *Compartimento Estrutural*. Seus depocentros principais são mais amplos e interconectados, localizados numa ampla região entre o domínio extensional e o domínio compressivo distal. Os cinturões de dobramentos e cavalgamentos se deformam consideravelmente, causando impacto morfológico capaz de atuar regionalmente como eficiente barreira à dispersão sedimentar. Esta fase é responsável pelo arcabouço estrutural da tectônica gravitacional observado atualmente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq/CTPETRO e ao programa franco brasileiro CAPES-COFECUB pelo apoio financeiro e pelas bolsas de doutoramento para o projeto. Agradecemos igualmente às empresas GAIA e FUGRO, como também ao Programa LEPLAC e à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pela cessão das linhas sísmicas utilizadas neste estudo. Agradecemos à empresa Seismic Micro-Technology pelo uso de licenças educacionais do programa Kingdom Suite®.

Referências

Araújo, E.F.S., Silva, C.G., Reis, A.T., Perovano, R., Gorini C., Vendeville, B.C. & Albuquerque, N.C., 2009.

Movimentos de massa multiescala na Bacia da Foz do Amazonas – Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(3): 485–508.

Brandão, J.A.S.L. & Feijó F.J., 1994. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8: 9–99.

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.

Damuth, J.E., Flood, R.D., Kowsmann, R.O., Belderson, R.H. & Gorini, M.A., 1988. Anatomy and growth pattern of Amazon deep-sea fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA) and high-resolution seismic studies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 72: 85–911.

Figueiredo, J., Hoorn, P., Van Der Ven, P. & Soares E.F., 2009. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon Deep-sea Fan: evidence from the Foz do Amazonas Basin. *Geology*, 37(7): 619–622.

Figueiredo, J., Hoorn, P., Van Der Ven, P. & Soares E.F., 2010. Late Miocene onset of the Amazon River and the Amazon deep-sea fan: Evidence from the Foz do Amazonas Basin: Reply: *Geology*, doi:10.1130/G30633C1.

Flood, R.D. & Piper, D.J.W., 1997. Amazon Fan sedimentation: the relationship to Equatorial climate change, continental denudation, and sea level fluctuations. In: FLOOD RD, PIPER DJW, KLAUS A &

- PETERSON LC (Eds.). Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 155: 653–675.
- Lopez, M., 2001. Architecture and depositional pattern of the Quaternary deep-sea fan of the Amazon. *Marine and Petroleum Geology*, 18: 479–486.
- Maslin, M., Vilela, C., Mikkelsen, N. & Grootes, P., 2005. Causes of catastrophic sediment failures of the Amazon Fan. *Quaternary Science Reviews*, 24: 2180–2193.
- Perovano, R., Reis, A.T., Silva, C.G., Vendeville, B.C., Gorini, C., Oliveira, V. & Araújo, E.F.S., 2009. O Processo de colapso gravitacional da seção marinha da Bacia da Foz do Amazonas – Margem equatorial brasileira. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(3): 459–484.
- Piper, D.J.W., Pirmez, C., Manley, P.L., Long, D., Flood, R.D., Normark, W.R. & Showers, W.J., 1997a. Mass-transport deposits of the Amazon Fan. In: FLOOD RD, PIPER DJW, KLAUS A & PETERSON LC (Eds.). Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 155: 109–146.
- Piper, D.J.W., Flood, R.D., Cisowski, S., Hall, F., Manley, P.L., Maslin, M., Mikkelsen, N. & Showers, W., 1997b. Synthesis of stratigraphic correlations of the Amazon Fan. In: FLOOD RD, PIPER DJW, KLAUS A & PETERSON LC (Eds.). Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 155: 595–609.
- Reis, A.T., Silva, C.G., Vendeville, B.C., Perovano, R., Ferreira, E., Gorini, C., Albuquerque, N., Pederneiras, R., Albuquerque, V. & Mattioda J., 2008. Gravity-driven processes at the offshore Amazon Mouth Basin – Brazilian Equatorial Atlantic Margin. In: Conference on Gravitational Collapse at Continental Margins: Products and Processes: 2008, Londres. Abstract Book... Londres: The Geological Society of London, 2008. p. 15.
- Reis, A.T., Perovano, R., Silva, C.G., Vendeville, B., Araújo, E.F.S., Gorini, C. & Oliveira, V., 2010. Two-scale gravitational collapse in the Amazon Fan: a coupled system of gravity tectonics and mass wasting processes. *Journal of the Geological Society*, 167(3): 593-604.
- Rimington, N., Cramp, A. & Morton, A., 2000. Amazon Fan sands: implications for provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 17: 267–284.
- Schaller, H., Vasconcelos, D.N. & Castro, J.C., 1971. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas. In: 25º Congresso Brasileiro de Geologia: 1971, São Paulo. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971, v.3, p. 189-202.
- Silva, C.G., Araújo, E.F.S., Reis, A.T., Perovano, R., Gorini, C., Vendeville, B. & Albuquerque, N.C., 2010. Megaslides in the Foz do Amazonas Basin-Brazilian equatorial margin. In MOSHER D.C., SHIPP C., MOSCARDELLI L., CHAYTOR J., BAXTER C., LEE H. & URGELES R. (Org.). *Submarine Mass Movements and Their Consequences, Series Advances in Natural and Technological Research*. 1 ed. Amsterdam: Springer Netherlands, 2010, v. 28, p. 581-591.
- Silva, S.R.P., Maciel, R.R. & Severino, M.C.G., 1999. Cenozoic tectonics of Amazon Mouth Basin. *Geo-Marine Letters*, 18: 256–262.
- Smith, W.H.F. & Sandwell, D.T., 1997. Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277: 1956–1962.
- Maslin, M. & Mikkelsen, N., 1997. Amazon Fan mass-transport deposits and underlying interglacial deposits: age estimates and fan dynamics. In: FLOOD RD, PIPER DJW, KLAUS A & PETERSON LC (Eds.). Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 155: 353–365.
- Oliveira, V., 2005. A tectônica gravitacional no Cone do Amazonas: compartimentação estrutural e mecanismos controladores. Dissertação de Mestrado. Lagamar, Universidade Federal Fluminense, 83 pp.
- Perovano R. 2008. Colapso gravitacional e estruturação da seção marinha da bacia da Foz do Amazonas no contexto de múltiplos níveis de destacamento. Dissertação de Mestrado. Lagamar, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 99 pp.