



## Estratigrafia sísmica da porção NW do Leque Superior do Amazonas: resultados preliminares

Cruz, A. M. (\*)<sup>1+</sup>; Araújo, E.F. <sup>2++</sup>; Reis, A.T. <sup>1</sup>; Silva, C. G. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Oceanografia-UERJ (albertomcruz88@gmail.com), <sup>2</sup> Lagemar-UFF, + Bolsista PIBIC-CNPq, ++ Bolsista de doutorado CNPq

Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV 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.

### Resumo

O Leque submarino do Amazonas é uma proeminente feição sedimentar localizada no extremo oeste da margem equatorial brasileira, na Bacia da Foz do Amazonas. Sua origem está relacionada a fases de soerguimento da Cordilheira dos Andes, a partir do Mioceno Superior. Diversos estudos abordam a evolução sedimentar e a deposição de depósitos de transporte de massa (MTDs) no Leque Submarino do Amazonas. No entanto, todos estes estudos restringem suas investigações aos pacotes sedimentares superiores do leque, de idade quaternária. O objetivo principal deste trabalho é o mapeamento das seqüências sedimentares de uma porção do Leque Submarino Superior do Amazonas (o compartimento NW e suas proximidades) desde sua implantação até o Recente, com base em dados de sísmica multicanal 2D e dados crono-estratigráficos de poços exploratórios. Neste trabalho, foi realizada a calibração crono-estratigráfica de perfis sísmicos disponíveis na área de estudos, possibilitando a individualização de seqüências estratigráficas de desenvolvimento do Leque Submarino do Amazonas. Também foi possível observar um forte espessamento das seqüências sedimentares do leque durante o Quaternário, evidenciando ainda uma relação entre espessa deposição sedimentar e ativação das principais fases de deformação da tectônica gravitacional na área.

### 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, resultam na reorientação da direção de drenagem do rio Amazonas que passa a fluir para o Oceano Atlântico. Com o fornecimento de expressiva carga sedimentar, permitiu-se 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).

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).

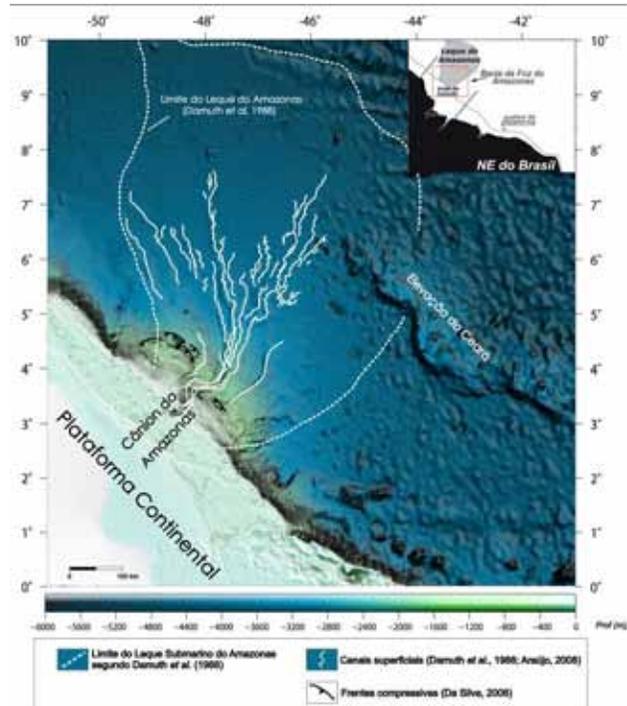


Figura 1 – Mapa batimétrico da Bacia da Foz do Amazonas mostrando a localização do Leque Submarino do Amazonas e a localização regional da área de estudos.

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 lítricas 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 km<sup>2</sup> 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 do Amazonas, localizada no chamado 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/ Problema Investigado

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 *PKS 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).

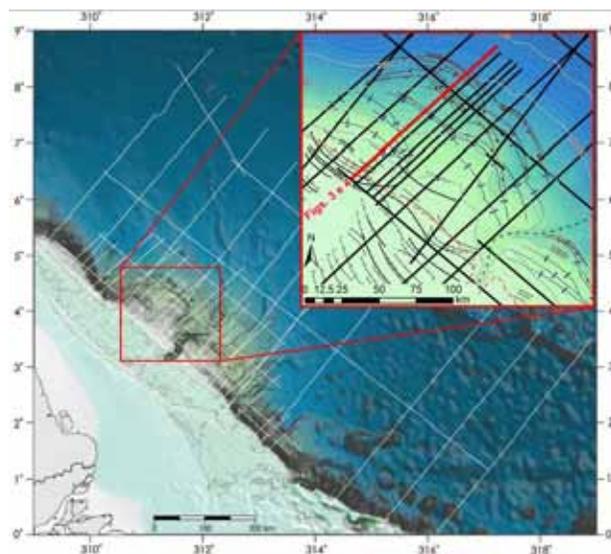


Figura 2 – Mapa batimétrico regional da Bacia da Foz do Amazonas com localização das linhas sísmicas disponíveis. Dados batimétricos regionais do ETOPO2 (Smith & Sandwell, 1997) e locais, no Leque Superior e Médio do Amazonas, fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, DHN-Marinha do Brasil (Araújo *et al.*, 2009).

### 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). 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 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 em laranja na figura), seguidas distalmente por falhas reversas (*domínio distal compressivo*, representadas em azul nas figura 3 e 4) integradas em frentes compressivas (*thrust belts*).

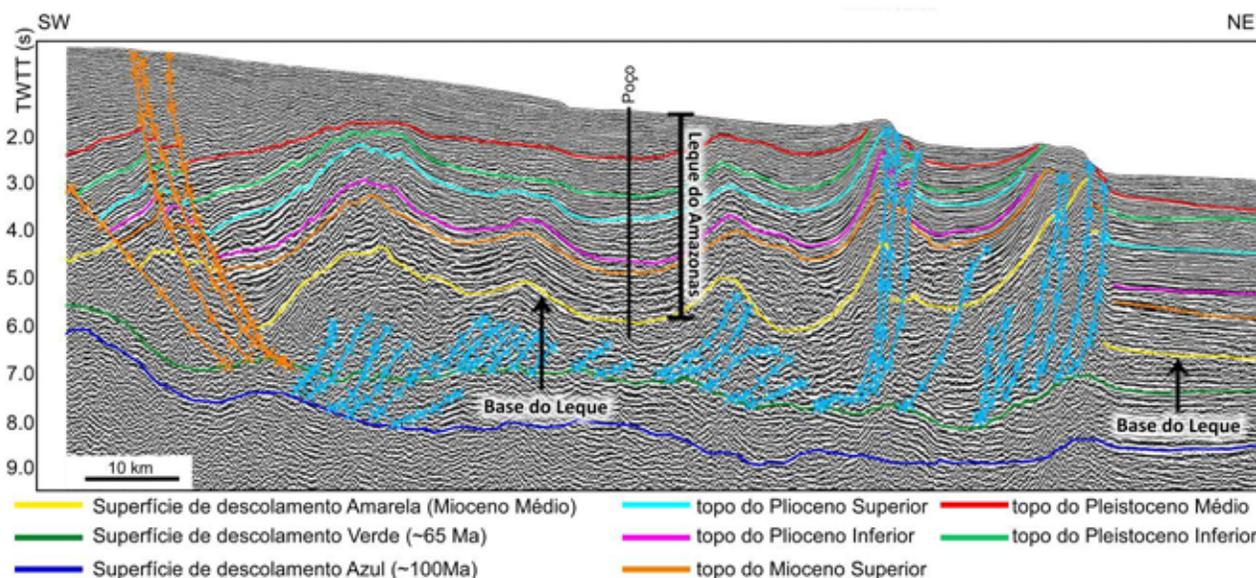


Figura 3 – Perfil sísmico da área de estudos com horizontes crono-estratigráficos de interesse calibrados. De baixo para cima: Superfície de descolamento Azul (Perovano et al., 2009); Superfície de descolamento Verde (Perovano et al., 2009); Superfície de descolamento Amarela (Perovano et al., 2009); topo do Mioceno Superior, em laranja; topo do Plioceno Inferior, em rosa; topo do Plioceno Superior, em azul piscina; topo do Pleistoceno Inferior, em verde; e topo do Pleistoceno Médio, em vermelho. Localização do perfil na figura 2.

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. 4) na região, definindo seis principais seqüências aqui chamadas de: **seqüência 1** (topo do Mioceno Médio ao topo do Mioceno Superior); **seqüência 2** (topo do Mioceno Superior ao topo do Plioceno Inferior); **seqüência 3** (topo do Plioceno Inferior ao topo do Plioceno Superior); **seqüência 4** (topo do Plioceno Superior ao topo do Pleistoceno Inferior); **seqüência 5** (topo do Pleistoceno Inferior ao topo do Pleistoceno Médio); **seqüência 6** (topo do Pleistoceno Médio ao Recente).

Assim, esta análise sísmica permitiu pela primeira vez a definição de seqüências sísmicas ilustrativas da sucessão estratigráfica do Leque do Amazonas em águas profundas desde sua implantação por volta de 10,5 Ma, representado aproximadamente pelo horizonte Topo do Mioceno Médio (assinalado pelo refletor de cor amarela na figura 3). Esta análise evidencia ainda um espessamento sin-tectônico de todas as seqüências do leque contra os planos de falhas normais do domínio extensivo da tectônica gravitacional, formando feições como *cunhas em leque* (*expanded sections*), o que evidencia o caráter deposicional sin-tectônico das seqüências do leque (Fig. 3). Contudo, a geometria das *cunhas em leque* mostra também que ao longo da deposição das seqüências 1 a 6, há uma notável

variação de sua espessura. A espessura aumenta principalmente durante a deposição das seqüências 4, 5 e 6 (Fig. 3). Estas seqüências correspondem à deposição Quaternária na bacia.

Ao mesmo tempo, é também possível observar erosão das seqüências ao longo das frentes compressivas (Fig. 3), fazendo com que algumas seqüências aflorem no fundo submarino devido à erosão e os falhamentos ao longo dos cinturões compressivos (Fig. 4).

### Discussão e Conclusões

O espessamento de seqüências sedimentares evidenciado no Leque do Amazonas indica claramente o caráter sin-tectônico das seqüências do leque. O espessamento à frente das falhas do domínio extensivo ao longo de quase toda a coluna estratigráfica do leque a partir do Mioceno Superior (**seqüência 1**, base do leque) parece ressaltar um papel importante da sedimentação na ativação do sistema de deformação gravitacional. O maior espessamento da seqüência quaternária sugere uma importante contribuição da sedimentação quaternária na construção do leque e também na intensificação das deformações ligadas à tectônica gravitacional. A correspondência espacial entre os cinturões de cavalgamento do domínio compressivo e a erosão das seqüências quaternárias sugere uma relação de soerguimento significativo e erosão dos pacotes sedimentares quaternários, mais uma vez sugerindo um forte acoplamento entre deposição quaternária e deformação (encurtamento) concomitante dos cinturões de dobramento e cavalgamento.

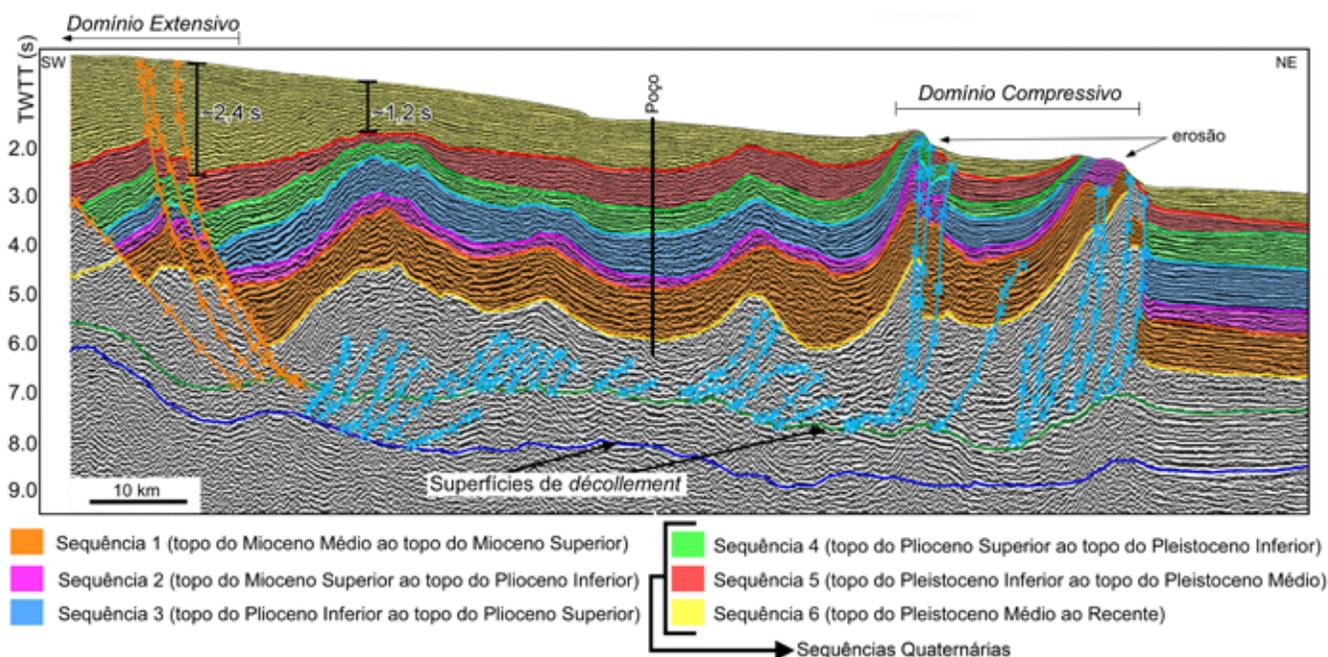


Figura 4 – Perfil sísmico da área de estudos com as principais seqüências interpretadas. De baixo para cima: **seqüência 1** (topo do Mioceno Médio ao topo do Mioceno Superior); **seqüência 2** (topo do Mioceno Superior ao topo do Plioceno Inferior); **seqüência 3** (topo do Plioceno Inferior ao topo do Plioceno Superior); **seqüência 4** (topo do Plioceno Superior ao topo do Pleistoceno Inferior); **seqüência 5** (topo do Pleistoceno Inferior ao topo do Pleistoceno Médio); **seqüência 6** (topo do Pleistoceno Médio ao Recente). Localização do perfil na figura 2.

Estas observações no domínio da estratigrafia sísmica parecem refletir informações de taxa de aporte sedimentar para o talude da região, que acompanham a evolução da configuração da bacia de drenagem do Rio Amazonas, induzida por fases de soerguimento dos Andes. Figueiredo *et al.* (2009), através de dados de poços de sondagem na plataforma continental e no leque superior, propõem taxas de aporte sedimentar variáveis e crescentes ao longo da deposição Mioceno Superior-Recente do leque: uma fase inicial, entre 11,8 e 6,8 Ma, com taxa de sedimentação média de ~0,05 m/ka; uma fase intermediária entre, 6,8 e 2,4 Ma, com taxa de sedimentação média de 0,3 m/ka; e uma fase recente, entre 2,4 Ma e o Recente, com taxa de sedimentação média de 1,22 m/ka.

O maior espessamento da seqüência quaternária do leque, como observado na sísmica parece assim refletir o aumento na taxa de sedimentação, apontado por Figueiredo *et al.* (2009). Da mesma forma justifica o aumento da deformação evidenciada no presente trabalho.

#### 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 SMT pelo uso de licenças educacionais do programa Kingdom Suite.

#### Referências

- ARAÚJO EFS, SILVA CG, REIS AT, PEROVANO R, GORINI C, VENDEVILLE BC & ALBUQUERQUE NC. 2009. Movimentos de massa multiescala na Bacia da Foz do Amazonas – Margem Equatorial Brasileira. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(3): 485–508.
- BRANDÃO JASL & FEIJÓ FJ. 1994. Bacia da Foz do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8: 9–99.
- COBBOLD PR, 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.
- DA SILVA RJP. 2008. Colapso gravitacional e estruturação da seção marinha da Bacia da Foz do Amazonas no contexto de múltiplos níveis de destacamento. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia – Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ. 101 pp.

- FIGUEIREDO J, HOORN P, VAN DER VEN P & SOARES EF. 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 EF. 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/G30633C.1.
- FLOOD RD & PIPER DJW. 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 AT, SILVA CG, VENDEVILLE BC, GORINI C, OLIVEIRA V & ARAÚJO EFS. 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 DJW, PIRMEZ C, MANLEY PL, LONG D, FLOOD RD, NORMARK WR & SHOWERS WJ. 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 DJW, FLOOD RD, CISOWSKI S, HALL F, MANLEY PL, 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 AT, SILVA CG, VENDEVILLE BC, 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 AT, PEROVANO R, SILVA CG, VENDEVILLE B, ARAÚJO EFS, 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 SRP, MACIEL RR & SEVERINO MCG. 1999. Cenozoic tectonics of Amazon Mouth Basin. *Geo-Marine Letters*, 18: 256–262.
- SMITH WHF & SANDWELL DT. 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.