

Influência da Tectônica-Gravitacional da Bacia Pará-Maranhão na Sedimentação de Águas Profundas.

Joana Nogueira da Cruz, Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Brasil.
Cleversson Guizan Silva, Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Brasil.
Antônio Tadeu dos Reis, Faculdade de Oceanografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

This work aims to describe the influence of gravitational deformation under deep marine sedimentary process in the Pará-Maranhão (PAMA) Basin, as well as to analyze the seabed deformation created by gravity-sliding tectonics that controls the morphological elements which in turn interacts with deep marine oceanic circulation, controlling the contour currents axis location and consequently the contourite deposits.

Introdução

A evolução tectono-estratigráfica das bacias da margem equatorial brasileira é diferente daquelas tipicamente extensionais, uma vez que estas bacias em sua fase inicial situavam-se em uma margem transformante. Desta forma, nas bacias equatoriais são identificadas estruturas com componentes compressivos e transcorrentes (Françolim e Sztamari, 1987). Nestas bacias em especial ocorrem ainda estruturas distensivas e compressivas, associadas à tectônica gravitacional induzida pela movimentação das seqüências sedimentares sobre um ou mais níveis de destacamento formados por folhelhos superpresurizados. A tectônica gravitacional foi responsável pela formação de cinturões gravitacionais com dobras e falhas de empurrão (*gravitational-folding-and-thrust belts*), que em alguns locais podem inclusive deformar o fundo submarino. Exemplos notáveis destes cinturões de deformação gravitacional foram apresentados por Zalán (1998; 1999; 2005) e Oliveira et al. (2008) na Bacia do Barreirinhas e por diversos autores na Bacia da Foz do Amazonas (Silva e Maciel, 1998; Silva et al., 1999; Cobbold et al., 2004; Oliveira, 2005; Da Silva, 2008; Reis et al., 2008a; Reis et al., 2008b; Reis et al., 2009).

Neste trabalho, descreve-se a influência da deformação gravitacional sobre os processos sedimentares de mar profundo na Bacia do Pará-Maranhão (PAMA). Demonstra-se que a deformação do fundo submarino gerada pela tectônica gravitacional cria elementos morfológicos que interagem com a circulação oceânica de mar profundo, condicionando a localização dos eixos

de correntes de contorno e, por conseguinte, os depósitos contorníticos.

A Bacia do PAMA está localizada na Margem Equatorial (Fig. 1), em frente aos estados de Pará e Maranhão, entre as longitudes 44° W e 47° W e latitudes 10° 30' N e 10° S, possuindo uma área total de 50.000 Km², apresentando-se totalmente submersa, sendo 26.000 Km² até a isóbata de 400 m e 24.000 km² entre as isóbatas de 400 m e 3.000 m. A área de estudo abrange em grande parte a borda da plataforma continental, o talude e parte da elevação continental.

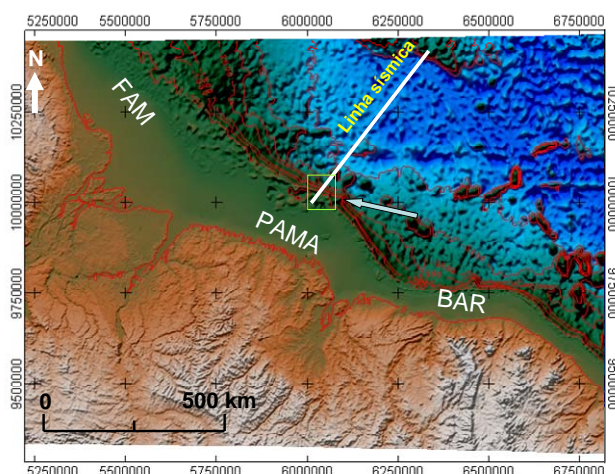


Figura 1. Localização da área de estudo (área verde indicada pela seta). FAM (Bacia da Foz do Amazonas), PAMA (Bacia Pará-Maranhão) e BAR (Bacia de Barreirinhas).

Morfologia do Fundo Oceânico e Sedimentação na Bacia Pará-Maranhão

A plataforma continental na Bacia Pará-Maranhão tem largura de 72 km e gradientes suaves de 0,06° a 0,8°. É uma região onde correntes de maré de grande intensidade interagem com os sedimentos da plataforma, média a interna, formando bancos arenosos submarinos, com orientação paralela às correntes de maré e na plataforma externa (a partir de 40 m) ocorrem ondas de areia móveis sobre um substrato carbonático (Palma, 1979) que eventualmente aparece como altos, remanescentes erosivos. Cânions soterrados, com direção SW-NE, de idade Neógena, foram responsáveis pela passagem de sedimentos da plataforma para o talude (Guimarães et al., 1989; Tanaka, 2006). Feições de progradação sigmoidal sugerem a ação de correntes

transversais ao eixo dos cânions como importantes agentes de re-sedimentação (Tanaka, 2006). A discordância que marca a base dos cânions é do Mioceno Médio, reconhecida como discordância Tortoniana de acordo com Tanaka, (2006), que coincide com evento mundialmente reconhecido de queda eustática (Haq, 1988).

O talude continental, entre as isóbatas de 80 e 3400 m, possui gradientes de 3° a 16° e é esculpido por cânions com orientação SW-NE. A sedimentação do talude estende-se até a elevação continental, que é interrompida pela cadeia vulcânica Norte Brasileira. Esta cadeia foi importante obstáculo à sedimentação derivada da margem, como demonstra o desnível topográfico do fundo submarino a SW e NE da barreira vulcânica. Esta barreira, segundo Hayes e Ewing (1970) impediu que a movimentação proveniente da margem atingisse diretamente a planície Abissal do Ceará, o que levou os autores a sugerir ação importante das correntes de contorno nos processos de re-sedimentação da margem equatorial ao largo da Bacia do Pará-Maranhão. Esta interpretação encontra subsídios no trabalho de Damuth e Kumar (1975) que, com base no padrão de distribuição de ecofácies, indicam que os processos de erosão, transporte e deposição são dominados pela atuação de correntes do contorno na elevação continental inferior e na planície abissal.

Correntes de Fundo na Margem Equatorial

As principais massas d'água responsáveis por correntes de fundo na porção profunda (acima de 800 m) da margem equatorial são (de baixo para cima): a Água de Fundo da Antártica (AABW); a Água de Fundo do Atlântico Norte (NADW) e a Água Intermediária da Antártica (AAIW).

A AABW ocorre em profundidades superiores a 3.600 m (Hayes e Ewing, 1970) atravessando a planície abissal do Ceará, na direção NW e ao chegar nas imediações da Elevação do Ceará sofre uma brusca deflexão para leste, atravessando o canal do Ceará e novamente para NW, margeando o flanco W da Cordilheira Mesoceânica rumo o Atlântico Norte. Esta corrente, portanto, passa ao largo da Cadeia Norte Brasileira, e não deve exercer influência no retrabalhamento da margem na bacia Pará-Maranhão. A NADW, passa ao sul da Elevação do Ceará, em profundidades superiores a 4000 m, aproximando-se da margem à medida que segue para SE (Kumar e Embley, 1977). Correntes de contorno associadas à NADW são responsáveis pela formação de drifts sedimentares no talude continental inferior e nas proximidades da cadeia Norte Brasileira, em profundidades superiores a 2500 m (Tanaka, 2006). O estreitamento provocado pela passagem da corrente de fundo entre a margem continental e a cadeia Norte Brasileira, provoca a aceleração das correntes e conseqüentemente intensifica os processos de erosão e re-sedimentação, gerando contornitos.

A AAIW tem influência a partir da isóbata de 2500 m, sendo que seu núcleo situa-se em torno de 1500 m (Silva et al., 2005), dirigindo-se para NW.

Metodologia

A metodologia aplicada neste estudo envolveu a compilação bibliográfica, a confecção de mapa batimétrico regional, utilizando o software Geosoft com base de dados do ETOPO 2 (Sandwell & Smith, 1997) e a interpretação de uma seção de sísmica de reflexão 2D, coletada pela Petrobras e Marinha do Brasil, dentro do Programa de Levantamento da Plataforma Continental Jurídica Brasileira, o projeto LEPLAC. A interpretação foi feita utilizando-se o software SMT Kingdom.

Resultados

A linha sísmica de orientação SW-NE localizada na Figura 1, mostra sedimentação do talude e sopé continentais, confinado entre a margem e a Cadeia Norte Brasileira (Fig. 2).

Observa-se um sistema distensivo-compressivo, que se estende por 35 Km a partir da borda da plataforma, caracterizando a movimentação das seqüências sedimentares sobre um nível de destacamento basal.

Falhas normais listricas, com mergulho em direção ao oceano, ocorrem desde a borda da plataforma até a base do talude, em profundidades de 3000 m de lâmina d'água. Aparentemente estas falhas são assintóticas sobre a superfície de destacamento, no entanto a qualidade da seção sísmica não permite afirmar isto com total certeza. As falhas normais atingem também o fundo submarino, que apresenta diversos degraus e blocos rotacionados em subsuperfície (Fig.2).

O regime distensivo proximal dá lugar a uma zona compressiva, que se movimentou sobre a mesma superfície de destacamento. Esta superfície ocorre a cerca de 1,7 segundos (TWTT) abaixo do fundo submarino atual, ou seja, 1700 metros, considerando-se uma velocidade de 2000 m/s para propagação do sinal acústico nos sedimentos. Lateralmente em direção ao oceano, a superfície de destacamento passa a um refletor de boa continuidade lateral até atingir a Cadeia Norte Brasileira. A deformação compressiva resultou no desenvolvimento de falhas reversas e de empurrão, formando um cinturão gravitacional com cerca de 10 km de largura e 1 km de espessura. A deformação compressiva, diferentemente das falhas normais do regime distensivo, não atinge o fundo submarino atual, significando que o processo deformacional cessou. As seqüências sedimentares mais recentes terminam em onlap de encontro ao paleo-relevo originado pelo cinturão gravitacional (Fig. 2).

Sobre o cinturão gravitacional, uma sismofácies com refletores truncados (hummocky) sugere a ação de correntes de fundo, ocasionando processos de corte e preenchimento de pequenos canais. Esta sismofácies afina lateralmente em direção ao mar, desaparecendo entre sismofácies plano-paralelas, contínuas, de média a alta amplitude (Fig. 2).

Uma discordância regional separa duas sismofácies: uma inferior, com refletores contínuos, plano-paralelos, de alta amplitude e freqüência alta a média, de uma sismofácies superior, com refletores contínuos, plano-paralelos, de alta amplitude e freqüência média a baixa. Na superfície, próximo à base do talude, um canal com largura aproximada de 7 km apresenta em sua margem NE uma elevação, com forma de dique marginal (levee) que se eleva por cerca de 120 m a partir do fundo do

canal. A margem SW do canal é delimitada por um bloco deslizado do talude continental (Fig. 2).

O depósito com refletores plano-paralelos a NE do canal foi interpretado como um drift sedimentar associado à corrente de fundo (Fig. 2).

Sobre o embasamento vulcânico da cadeia Norte Brasileira, a NE da seção (Fig. 2) ocorrem refletores de alta amplitude e em parte caóticos, sugerindo tratar-se de derrames ou sequências vulcano-sedimentares intercalados. Um corpo vulcânico de menores dimensões (cerca de 1 segundo de relevo e 300 m de largura) ocorre destacado do corpo principal da cadeia.

Discussões e Conclusões

As estruturas compressivas da Bacia Pará-Maranhão são feições fósseis, que não foram reativadas posteriormente, porém formaram um cinturão gravitacional de falhas de empurrão e reversas, que deram origem ao relevo sobre o qual as sequências sedimentares superiores se sobrepõem em *onlap*. Este cinturão de deformação gravitacional é similar em estruturas e dimensões ao observado por Zalán (1999) na Bacia de Barreirinhas, no entanto difere bastante em termos de dimensões e estruturas daqueles observados na Bacia da Foz do Amazonas (Silva et al., 1999; Cobbold et al., 2004; Oliveira, 2005; Da Silva, 2008; Reis et al., 2008a; Reis et al., 2008b; Reis et al., 2009). Na Foz do Amazonas também, ocorre a continuidade da deformação, atingindo as sequências sedimentares superiores até mesmo deformando o fundo submarino atual, o que foi interpretado como decorrente da reativação tectônica em função da enorme carga sedimentar do leque submarino do Amazonas desde o Mioceno Médio (Da Silva, 2008; Reis et al., 2008a; Reis et al., 2008b; Reis et al., 2009). Em comparação com os dados da Bacia de Barreirinhas, pode-se supor que a superfície de destacamento seja do Cretáceo Superior/Paleoceno (Zalán, 1999) e que o topo do cinturão de deformação seja do limite Eoceno-Oligoceno.

A discordância regional (Fig. 2) que marca a base da sismofácies superior é possivelmente a discordância do Tortoniano, mapeada por Tanaka (2006). Desta forma, o maior desenvolvimento do *drift* sedimentar identificado neste trabalho (Fig. 2) deu-se a partir do Mioceno Médio. O drift identificado se desenvolve a partir de um canal, e de sequências sedimentares (sismofácies verde na Fig. 2) que atestam a ação de correntes de fundo que causaram erosão e re-sedimentação em uma região limitada do talude inferior em torno de 3000 m de profundidade. A esta profundidade, a corrente de fundo está sob influência da Água de Fundo do Atlântico Norte (NADW), que se situa entre 2500 e 4000 m, dirigindo-se de NW para SE ao longo da margem da Bacia do Pará-Maranhão.

Isto nos leva a crer que o *drift* sedimentar é um depósito de corrente de contorno, contornito, gerado pela ação da NADW, cujo eixo principal se localiza, atualmente, a 3000 m de profundidade. A deposição do contornito teve início em profundidades maiores, a partir do Mioceno Médio, em torno de 4000 m, que corresponde aproximadamente à profundidade do topo do cinturão gravitacional. Este cinturão de deformação teria agido como obstáculo,

condicionando o eixo da corrente de fundo de encontro à margem continental.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPQ pelo incentivo financeiro, aos geólogos da PETROBRAS Victor Hugo Pinto, Fabio Bagni e Arnaldo Tanaka pelos esclarecimentos.

Referências

- Cobbold, P.R., K. Mourgues and K. Boyd, 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, R.J.P., 2008.** Colapso gravitacional e estruturação da seção marinha da bacia da Foz do Amazonas no contexto de múltiplos níveis de destacamento. M.Sc. Dissertation, Universidade Federal Fluminense, Brazil.
- Damuth, J.E. e N.Kumar, 1975.** N. Amazon Cone: morphology, sediments, age and growth pattern. *GSA Bull.*,86, 863-878.
- Françolin, J. B. L. e P. Szatmari, 1987.** Mecanismo de rifteamento da porção Oriental da Margem Norte Brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(12), 196-207.
- Guimarães P.T.M, E.M.Ribeiro e S.R.P.Silva, 1989.** Interpretação sismoestratigráfica em águas profundas na Bacia Pará-Maranhão. In: Seminário de Interpretação Exploratória, Angra dos Reis, Resumo Expandido, Rio de Janeiro, PETROBRAS, Relatório Interno, 1989.
- Haq, B.U., J.Hardenbol, P.R. Vail, 1988.** Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. *SEPM Special Publication*, 42, 71-108.
- Hayes, D.E.,M. Ewing,1970.** North Brazilian Ridge and adjacent continental margin. *AAPG Bull*, 54, 2120-2150.
- Kumar, N. and R.W.Embley,1977,** Evolution and origin of Ceará Rise: an seismic rise in the western equatorial Atlantic, *Geol. Soc. Am. Bull*, 88, 683-694.
- Oliveira, V., 2005.** A tectônica gravitacional no Cone do Amazonas: compartimentação estrutural e mecanismos controladores. M.Sc. Dissertation, Universidade Federal Fluminense, Brazil.
- Oliveira, M.J.R., L.Caldeira, A.Tanaka, P. Santarem, I. Trosdorf and Jr., P.V. Zalán, 2008,** "Linked Extensional-Compressional Tectonics in Gravitational Systems of Brazil's Equatorial Margin. American Association of Petroleum Geologists International Conference & Exhibition, Cape Town, 1-6.
- Palma,J.J.C. 1979,** Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. *Série Projeto REMAC*, 7, 25-51.
- Reis. A.T., C.G.Silva, B.C.Vendeville et al, 2008a,** Gravity-driven processes at the offshore Amazon Mouth Basin – Brazilian Equatorial Atlantic margin. Conference

on Gravitational Collapse at Continental Margins: Products and Processes. The Geological Society of London. Abstract book, p 15

Reis, A.T., C.G. Silva, B.C. Vendeville, R.Perovano, E. Ferreira, C.Gorini, N. Albuquerque, R. Pederneiras, V. Albuquerque and J. Mattioda, 2008b, Gravity-driven processes at the offshore Amazon Mouth Basin – Brazilian Equatorial Atlantic margin. Gravitational Collapse at Continental Margins: Products and Processes. The Geological Society of London, 15.

Reis, A.T.; Perovano, R.; Silva, C. G.; Vendeville, B. C.; Araújo, E.; Gorini, C.; Oliveira, V., 2009, Multi-scale gravitational collapse in the Amazon Deep-sea Fan: a coupled system of gravity tectonics and mass wasting processes. Geological Society of London (submetido).

Silva, S. R., e R. R. Maciel, 1998, Foz do Amazonas Basin hydrocarbon system: AAPG International Conference & Exhibition Extended Abstracts Volume, Rio de Janeiro, Brazil, p.480-481.

Silva SRP, R.R. Maciel, M.C.G. Severino, 1999, Cenozoic Tectonics of Amazon Mouth Basin. Geo-Marine Letters 18:256-262.

Silva, A.C., M. Araújo e B. Bourlès, 2005, Variação sazonal da estrutura de massas de água na plataforma continental do Amazonas e área adjacente. Revista Brasileira de Geofísica, 23(2), 145-158.

Smith, W.H.F and D.T. Sandwell, 1997. Seafloor topography from satellite altimetry and ship soundings, Science 10, 1957-1962.

Tanaka, A., 2006. Interação entre os processos gravitacionais e a ação das correntes de fundo no talude continental da bacia Pará-Maranhão no Neogeno. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geociências da Universidade Federal Fluminense, Brasil, pp.100.

Zalán, P. V., 1998, Gravity-driven compressional structural closures in Brazilian deep-waters: a new frontier play: AAPG Annual Meeting Extended Abstracts vol. 2, Salt Lake City, Utah, p. A723.

Zalán, P. V., 1999, Seismic expression and internal order of gravitational fold-and-thrust belts in Brazilian deep waters. VI International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 4pp (CD ROM).

Zalán, P. V. 2005. End members of gravitational fold and thrust belts (GFTBs) in the deep waters of Brazil, 2005. In: SHAW, J. H., CONNORS, C. & SUPPE, J. (eds). Seismic Interpretation of Contractional Fault-Related Folds. An American Association of Petroleum Geologists Seismic Atlas, 53, 147-153.

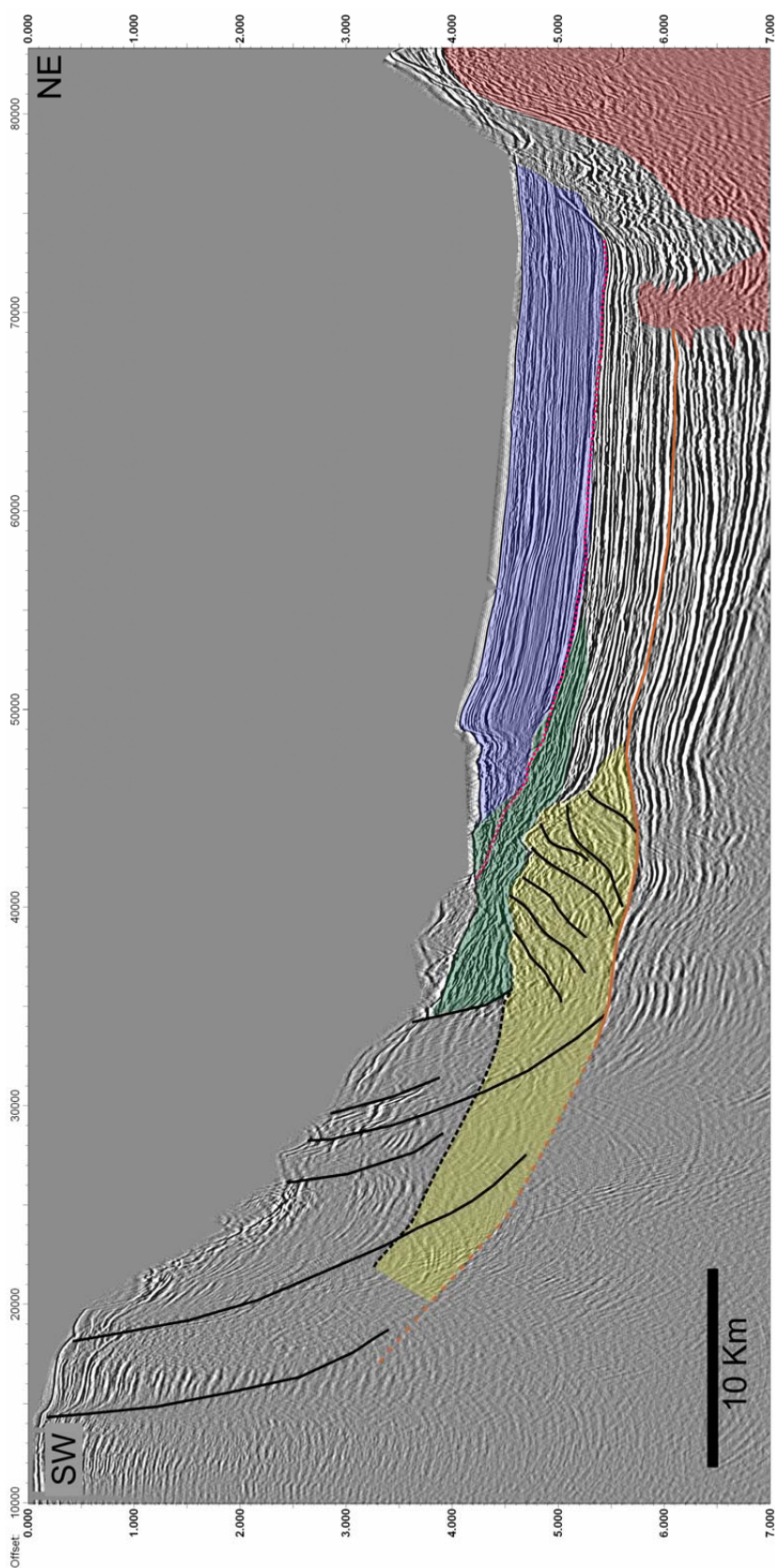


Figura 2. Interpretação da seção sísmica 2D da Bacia Pará-Maranhão. A área em amarelo representa a zona compressiva resultando em falhas de empurrão e dobramentos. A região em verde indica a região com refletores truncados (*hummocky*) sugerindo retrabalhamento por correntes de fundo. A região em azul representa o *drift contornítico*. A linha pontilhada em vermelho, na base do depósito de *drift* (azul) representa a discordância do Tortoniano, por analogia com Tanaka (2006). A superfície de destacamento (base do amarelo) é representada pela linha em sépia.