



Evidências da atividade de correntes de fundo através da sismoestratigrafia no Complexo Sedimentar Walvis-Lüderitz, Margem Continental da Namíbia

Carolina Caram Stratievsky* LAGEMAR/ UFF, e Eliane da Costa Alves*, LAGEMAR/ UFF

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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 presents the results of the analysis of seismic stratigraphy profiling from the Walvis-Lüderitz Basin Sedimentary Complex, to the south of Walvis Ridge, in the Continental Margin of Namibia. Different seismic facies were identified, providing the distinction of two main evolutive sedimentary phases. The first phase would have been dominated by terrigenous sedimentation processes followed by the second phase, controlled by processes associated with bottom currents that started to become predominant during the Cenozoic, a period when an arid climate was established in the region, which was also under the influence of the global geotectonic, already active since the previous phase.

Introdução

Grande parte dos estudos envolvendo a tentativa de distinção entre depósitos por fluxos gravitacionais e correntes de fundo encontram a grande problemática da similaridade das características faciológicas dos dois tipos de depósitos. A distinção dos processos fica praticamente impossível quando as condições evolutivas mostram uma interação entre os mesmos.

No caso do presente trabalho, a evolução da região de estudo apresenta certas peculiaridades que a fizeram ser considerada como um modelo *in situ* de estudos de depósitos sedimentares por correntes de fundo.

A Margem da Namíbia a sul da Cadeia Walvis (Figura 1) apresenta uma fisiografia suave, atípica, reflexo da evolução geotectônica e climática que promoveu um clima árido estabelecido durante o Cenozóico (65Ma). Neste mesmo período, o Oceano Atlântico experimentou uma mudança no padrão de circulação profunda, cuja evolução foi altamente influenciada pelo retrabalhamento do relevo submarino, principalmente a barreira fisiográfica imposta pela Cadeia Walvis. Desse modo, dificultando o fluxo norte da circulação de fundo, colaborando para a constituição da arquitetura sedimentar da margem ao sul da cadeia. Assim, a condição de baixo aporte sedimentar e o estabelecimento de uma nova circulação oceânica corroborou para a suavização da fisiografia da Margem Continental da Namíbia através da predominância do retrabalhamento

dos sedimentos pelágicos, hemipelágicos e também daqueles preexistentes formados principalmente pelas correntes de fundo (Bomhold e Summerhayes, 1977; Summerhayes *et al.*, 1979; Tucholke e Embley, 1984; Embley e Morley, 1980). Esta margem continental foi dominada principalmente pela atuação de três massas d'água: a Antarctic Bottom Water (AABW), a North Atlantic Deep Water (NADW) e a Antarctic Intermediate Water (AAIW).

O propósito deste trabalho foi identificar, através da análise faciológica, os processos sedimentares envolvidos na evolução do complexo sedimentar da área de estudo, com ênfase à fase evolutiva a partir do Cenozóico. Nesse período, a formação do complexo apresentava escassa influência de aporte sedimentar terrígeno. Tal interpretação levou em consideração a fisiografia do sistema, assim como a configuração externa dos depósitos e suas características internas.

Metodologia

O trabalho realizado consistiu na interpretação de cerca de 5000 km de dados de sísmica multicanal e monocal na região da Margem Continental da Namíbia a sul da Cadeia Walvis. Os dados foram coletados pela empresa MAG – Mar, Ambiente e Geologia para o Governo da Namíbia em 2004. Foram interpretados um total de 7 perfis sísmicos, sendo 6 perpendiculares à costa cortados por um perfil em strike.

A análise sismoestratigráfica foi realizada seguindo os preceitos de Mitchum *et al.*, (1977a; 1977b), Vail (1987), Posamentier e Allen (1999), assim como os métodos propostos por Faugères (2008) para a interpretação de sistemas contorníticos. Desta forma, a análise envolveu a configuração externa dos pacotes sedimentares, dos subpacotes e fácies sísmicas. Tais considerações foram de grande importância para uma melhor interpretação e definição dos processos envolvidos na formação dos depósitos sedimentares. Como resultado, foram elaboradas seções sísmicas ilustrativas, além de mapas faciológico e de feições, permitindo uma melhor visualização da distribuição espacial dos diferentes refletores sísmicos.

Análise Sismoestratigráfica

Através da análise da sismoestratigrafia do Complexo Sedimentar da Bacia Walvis-Lüderitz foi possível mapear duas megassequências sísmicas, refletindo períodos de deposição e processos sedimentares distintos. A primeira megassequência denominada MS-I (Figura 2) recobre o embasamento, sendo composta por sedimentos predominantemente terrígenos, decorrente do período rífte e pós-rifte durante o Cretáceo.

Como resposta desta sedimentação e eventos tectônicos-magmáticos, a megassequência MS-I é caracterizada por sequências progradacionais que consequentemente formam uma fisiografia bem definida, apresentando domínios como plataforma, talude e sopé continental.

Além disso, a megassequência MS-I apresenta características faciológicas típicas de períodos de aporte sedimentar terrígeno significativo. Assim, são identificados feições como deslizamentos de massa, clinoforras progradantes, cunhas clásticas deformadas por falhamentos decorrentes de processos como a subsidência e eventos tectono magmáticos. Recobrimo a MS-I, a megassequência MS-II parece corresponder à Fase Drifte Tardio – Recente. De acordo com a correlação feita com o trabalho de Maslanyj *et al.* (1991), como ilustrado nas Figuras 2 e 3, a megassequência MS-II marca o período do Cenozóico, recobrimo assim a megassequência MS-I acima da descontinuidade D2 ou "L" de Light *et al.* (1993) e Gerrard e Smith (1982), caracterizada por um truncamento erosivo. A presença do truncamento erosivo na região da quebra da paleo-plataforma sugere que esta superfície marque a base do Terciário, segundo Maslanyj *et al.* (1991), propondo sua formação em condições subaéreas.

Assim como a megassequência anterior, a MS-II também mostra padrões progradacionais, no entanto, sua cunha sedimentar apresenta uma espessura nitidamente mais fina na região da plataforma continental (Figura 2), resultante de um período árido, implantado no início do Cenozóico. Nesse período, a margem continental da Namíbia foi considerada por Emery *et al.* (1975) e Embley e Morley (1980) como uma "margem faminta", cuja evolução experimentou um período de sedimentação terrígena bastante escassa. Combinando a atuação de correntes de fundo, diferentes taxas de subsidência e processos de fluxos gravitacionais, o resultado foi de uma morfologia da margem com característica decorrentes de uma suavização atípica quando comparada à outras margens do tipo Atlântico, refletindo em uma plataforma profunda e uma batimetria assintótica.

Através da análise de perfis sísmicos e batimétricos, foram definidas quatro sequências (Sq1-Sq2-Sq3-Sq4) que compõem a megassequência MS- II (Figura 2). Nessas sequências foram identificados feições e estruturas derivadas de diferentes mecanismos de processos de sedimentação, decorrentes da atuação de correntes de fundo e fluxos de gravidade, associados ou não. As principais faciologias e feições formadas são caracterizadas por refletores de alta continuidade, subparalelos a paralelos, amplitude moderada a alta e frequência baixa a moderada, além de refletores pontualmente ondulados e sinais transparentes e caóticos. Refletores duplos de alta amplitude também são comumente observados, principalmente nas sequências Sq1 e Sq4, enquanto superfícies erosivas extensas são observadas principalmente na Sq3 (Figura 4). Suas principais feições compreendem lentes extensas transparentes a caóticas, superfícies abauladas no talude, truncamentos erosivos e superfícies erosivas, pequenas canalizações e erosão intensa formando desníveis suaves, como a formação de canais rasos de pequeno porte (Figuras 5 e 6).

Estas características acima definidas podem ser visualizadas no mapa faciológico total da megassequência MS-II, além do mapa de feições. O mapa faciológico (Figura 7A) demonstra como a variação da intensidade das correntes refletem nos tipos de depósitos, ora com caráter erosivo, ora deposicional. Já o mapa de feições (Figura 7B) indica a ocorrência de deslizamentos de massa na região do talude, truncamentos erosivos na região da plataforma, canalizações distais, associadas às correntes de fundo e outras pequenas canalizações na região proximal, geralmente decorrentes de deslizamentos por fluxo gravitacional. Portanto, através dos mapas e interpretação sísmica, se conclui que na região de estudo, a megassequência MS-II foi praticamente dominada por processos relacionados às atividades de correntes de fundo, com exceção da região do paleotalude e paleoquebra, em que a atuação de deslizamentos gravitacionais é evidenciada pelas feições lenticulares com estruturas internas irregulares muitas vezes influenciadas por falhamentos. Ainda assim, não se observa um domínio desses processos gravitacionais, mas provavelmente a atuação em conjunto ou alternada com as correntes de fundo, mascarando e retrabalhando os depósitos gravitacionais. Além disso, por se tratar de um período de baixíssimo aporte sedimentar, já se presume que os fluxos gravitacionais seriam mais escassos. Dentro da megassequência MS-II, os principais depósitos sedimentares observados são derivados da atuação das correntes de fundo localizadas na porção bacinal, formando os lençóis conturíticos, e na porção do talude, se observam refletores divergentes onlapantes, derivados provavelmente da atividade dessas correntes associadas à Força de Coriolis. Contudo, ao longo de toda a extensão da área e verticalmente, ao longo dos complexos sedimentares, os *drifts* apresentam características distintas, mostrando variações laterais, principalmente nas sequências Sq2 e Sq3. Nesse sentido, observam-se complexos sedimentares transparentes, em formas de lentes na região distal, enquanto na região do talude ao sopé os refletores possuem padrões paralelos a subparalelos, indicando diferentes velocidades de fluxo de correntes. São nessas duas sequências que se observam influências em conjunto com processos gravitacionais, representadas por lentes ou cunhas caóticas a descontínuas.

Além disso, a provável atividade de correntes de fundo também é representada pela extensa superfície erosiva presente na sequência Sq3, por toda a área de estudo, nos domínios distais a centrais.

Em relação aos falhamentos encontrados na megassequência MS-I, esses podem ser também evidenciados na MS-II, chegando até os limites superiores nos domínios do talude e sopé continental. Esses falhamentos denotam períodos de reativações posteriores a deposição das sequências Sq1-Sq3, mostrando uma reativação tectônica recente, ou após o período de remobilização das correntes de fundo.

Em menor escala, também foram observados falhamentos na sequência mais recente Sq4, provocando irregularidades dos refletores que se prolongam até a superfície do fundo atual.

Pelo fato da Cadeia Walvis ser considerada uma barreira fisiográfica, as correntes derivadas da massa d'água AABW, fluindo para norte, ao encontrarem a cadeia, sofrem deflexão para leste, migrando seu fluxo para sul. Neste contexto, as correntes são consideradas a principal circulação de fundo na região, percorrendo acima dos depósitos *sheeted drifts*, sugerindo que seu fluxo seja desacelerado pela influência da Força de Coriolis. Esta exerce uma pressão sobre o fluxo contra a margem, promovendo possivelmente os depósitos em onlap observados, provavelmente trabalhando em conjunto com a NADW, cujo fluxo também segue para sul (Figura 8).

As outras duas importantes massas d'água, AAIW e NADW por terem suas correntes fluindo em uma menor profundidade, podem ser responsáveis pela suavização na porção superior da elevação continental e às porções externas da plataforma. Contudo, os fluxos de gravidade são considerados ativos, consequentes de algumas evidências sísmicas observadas na megasequência MS-II.

Conclusões

Os resultados acima apresentados confirmam a influência de correntes de fundo no delineamento do relevo submarino da quebra do talude para porções mais próximas à margem e também pela suavização dos mesmos na Megesequência MS-II quando comparada à Megesequência MS-I (Figura 9). Outras evidências em menor escala são possivelmente consequentes dos refletores onlapantes na margem, formando uma cunha divergente em direção à bacia, entre outras características como as superfícies erosivas extensas e grandes depósitos caóticos na região da bacia. Os depósitos por fluxos gravitacionais foram observados pontualmente, o que sugere uma maior influência das correntes de fundo sobre esses processos.

Como pode ser observado, a caracterização de fácies nem sempre apresenta resultados precisos que possam distinguir processos regidos por fluxos gravitacionais e correntes de fundo. Contudo, tendo conhecimento da história evolutiva da geologia regional e com a observação da distribuição espacial das características dos refletores sísmicos, foi possível fazer uma correlação tentativa dos processos gravitacionais ou decorrentes da atuação das correntes de fundo. Esses podem trabalhar em conjunto ou alternadamente, caracterizando assim os depósitos sedimentares.

Estudos mais avançados e focando cada sequência sísmica definida para a Megasequência MS-II poderia trazer um entendimento mais profundo sobre os processos sedimentares e mais informações acerca do comportamento da circulação marinha profunda atual no complexo bacinal de Walvis- Lüderitz.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Governo da República da Namíbia, à MAG - Mar, Ambiente e Geologia Ltda pelos dados cedidos. Agradecemos também à EMGEPRON - Empresa de Gerenciamento de Projetos Navais da Marinha do Brasil pelo apoio técnico, e ao LAGEMAR - Laboratório de Geologia Marinha da

Universidade Federal Fluminense também pelo apoio técnico e por possibilitar a realização deste trabalho.

Referências

Bornhold, B.D., Summerhayes, C.P., 1977. Scour and deposition at the foot of the Walvis Ridge in the Northernmost Cape Basin, South Atlantic. *Deep-Sea Res.* 24, 743-752.

Embley, R. W., Morley, 1980. Quaternary sedimentation and paleoenvironmental studies off Namibia (south west Africa). *Marine Geology*, 36, 183 – 204.

Emery, K., O., Uchupi, E., Bowin, E., Phillips, J., Simpson, E., S., W., 1975. Continental Margin off Western Africa: Cape St. Francis (South Africa) to Walvis Ridge (southwest Africa). *AAPG Bulletin*. V. 59 3-59, 44.

Faugères, J.-C., Stow, D.A.V., 2008. Contourite drifts: Nature, evolution and controls, in: Rebesco, M., Camerlenghi, A. (Eds.), *Contourites. Developments in Sedimentology*, 60 (this volume) pp. 257–288.

Gerrard, I., Smith, G.C., 1982. Post-Paleozoic succession and structure of the Southwestern African continental margin. In: Watkins, J.S., Drake, C.L. (Eds.), *Studies in Continental Margin Geology*. American Association of Petroleum Geologists, pp. 49–76.

Light, M.P.R., Maslanyj, M.G., Greenwood, R.J. & Banks, N.L. 1993. Seismic sequence stratigraphy and tectonics offshore Namibia. In: Williams & Dobb (Eds) *Tectonics and seismic sequence stratigraphy*. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 71, 163-191.

Maslanyj, M.P., Light, M.P.R., Greenwood, R.J., Banks, N.L., 1992. Extension tectonics offshore Namibia and evidence for passive rifting in the South Atlantic. *Marine and Petroleum Geology* 9, 590–601.

Mitchum, R.M.; Vail, P.R. & Sangree, J.B. (1977a). Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 7: Seismic Stratigraphy Interpretation Procedures. In: C.E. Payton (Ed.) *Seismic Stratigraphy: Application to Hydrocarbon Exploration*. *AAPG Memoir*, 26:135-143.

Mitchum, R.M.; Vail, P.R. & Sangree, J.B. (1977b). Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 6: Seismic Stratigraphy Interpretation Procedures. In: C.E. Payton (Ed.) *Seismic Stratigraphy: Application to Hydrocarbon Exploration*. *AAPG Memoir*, 26:117-133.

Posamentier, H.W., and Allen, G.P., (1999). *Siliciclastic sequence stratigraphy - Concepts and applications*. Society of Paleontologists and Mineralogists *Concepts in Sedimentology and Paleontology*. no 7, 210 p.

Summerhayes, C., P., Bornhold, B., D., Embley, R., W., Surficial slides and slumps on the continental slope and rise of southwest in: Bornhold, B.D., Summerhayes, C.P., 1977. Scour and deposition at the foot of the Walvis Ridge in the Northernmost Cape Basin, South Atlantic. *Deep-Sea Res.* 24, 743-752.

Tucholke, B. E., Embley, R. W., 1984. Cenozoic regional erosion of the abyssal floor off South Africa: *AAPG Memoir* 36, p. 145– 164.

Vail, P.R. 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part I: Seismic stratigraphy interpretation procedure. In Atlas of Seismic Stratigraphy, ed. AW Bally, pp. 1-10. Am. Assoc. Petrol. Geol. Stud. Geol. No. 27, Vol. 1. 125 pp.

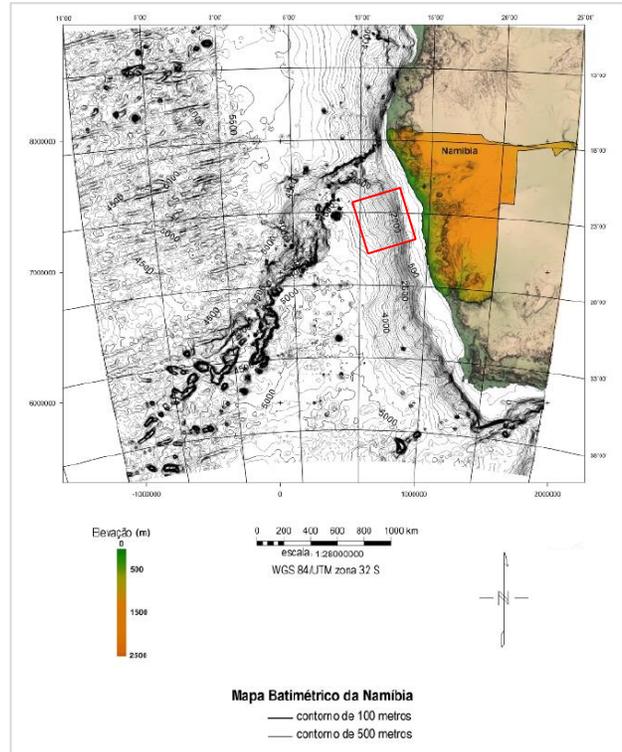


Figura 1: Mapa batimétrico da Namíbia com contornos a cada 100 e 500 metros com área de estudo em vermelho. Fonte: MAG – Mar, Ambiente e Geologia - 2010. Os dados batimétricos correspondem a uma compilação de dados adquiridos durante o levantamento associado à outras fontes.

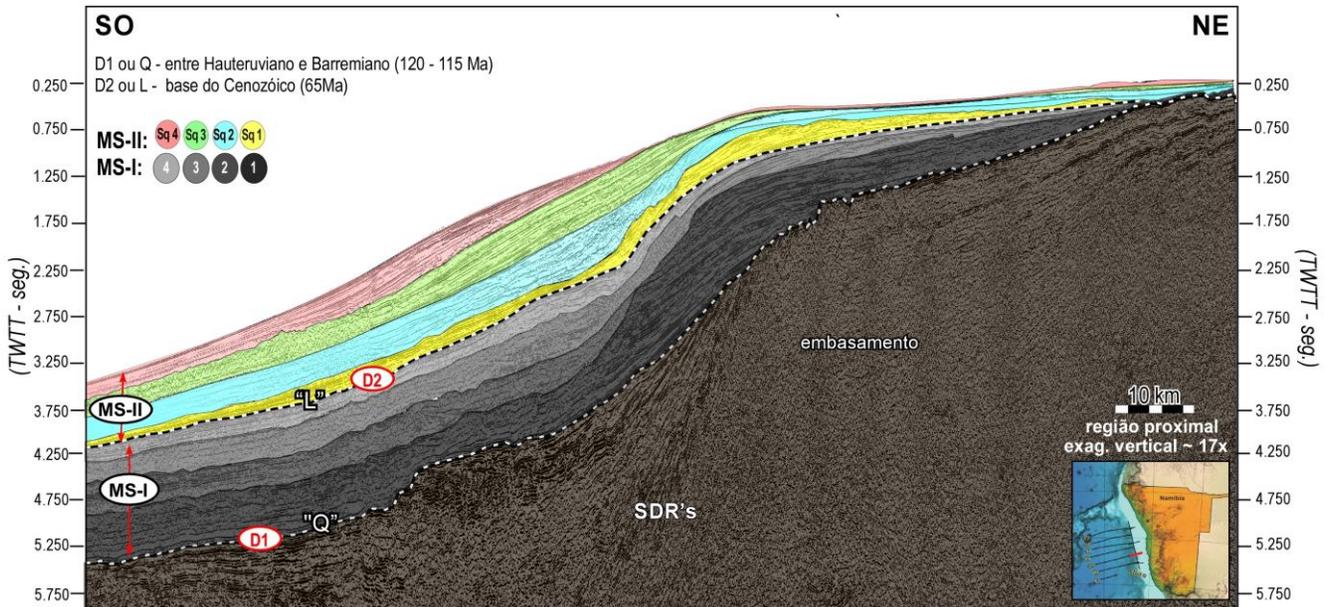


Figura 2: Perfil sísmico ilustrando as megassequências MS-I e MS-II e a arquitetura sedimentar entre a plataforma e região distal do complexo bacinal Walvis-Luderitz, na Margem Continental da Namíbia. D1 e D2 correspondem às descontinuidades de cada base de sequência ou descontinuidades "L" e "Q" propostas na correlação com o trabalho de Maslanyj (1991), visto na Figura 3.

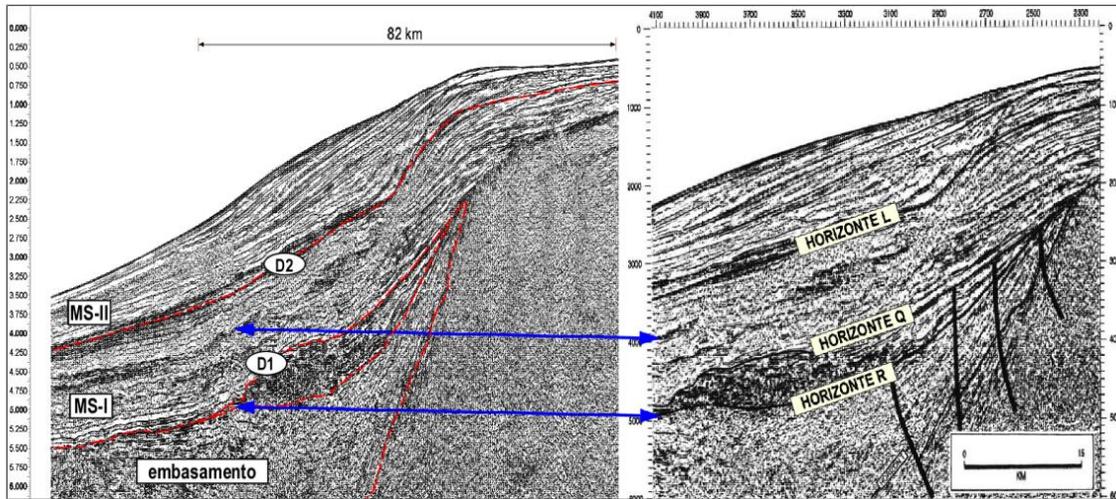


Figura 3: Correlação cronoestratigráfica por imagem do perfil sísmico de Maslanyj *et al* (1991) (modificado). MS-I e-II MS correspondem às megassequências identificadas e correlacionadas com o perfil interpretado do autor, onde D2 corresponde ao horizonte L, marcando a base do Cenozóico. O horizonte Q é o período da Barremiano-Hauteruviano (123-113 Ma), marcando a fase de transição do *Rift-Drift*, de acordo com Light *et al.* (1993). O perfil apresentado por Maslanyj (1991) é idêntico ao perfil apresentado neste trabalho.

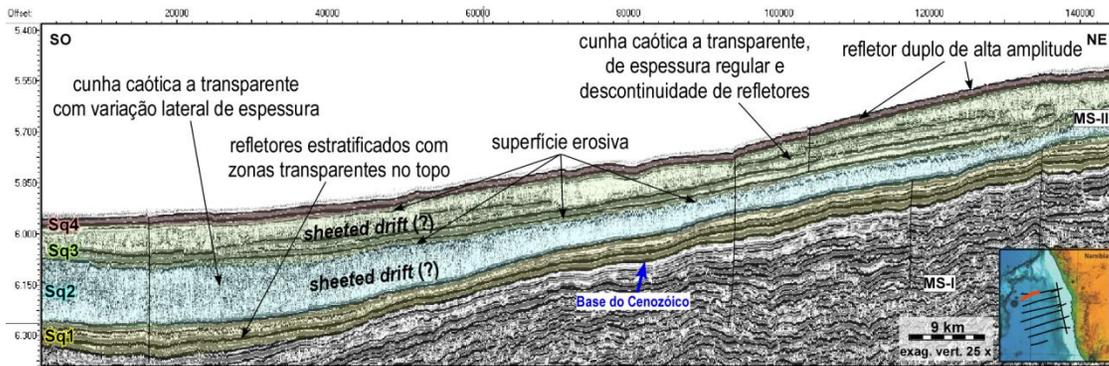


Figura 4: Perfil sísmico ilustrando a megassequências MS-II e a arquitetura sedimentar na região distal do complexo bacinal Walvis-Luderitz, na Margem Continental da Namíbia. Observe a variedade de faciologias entre as sequências Sq1 a Sq4. A porção distal apresenta dois grandes depósitos em forma de *sheeted drifts* que ocorrem ao longo de toda a área estudada. Refletores duplos de alta amplitude, superfícies erosivas são outras características que são observadas em grandes extensões ao longo dos pacotes sedimentares.

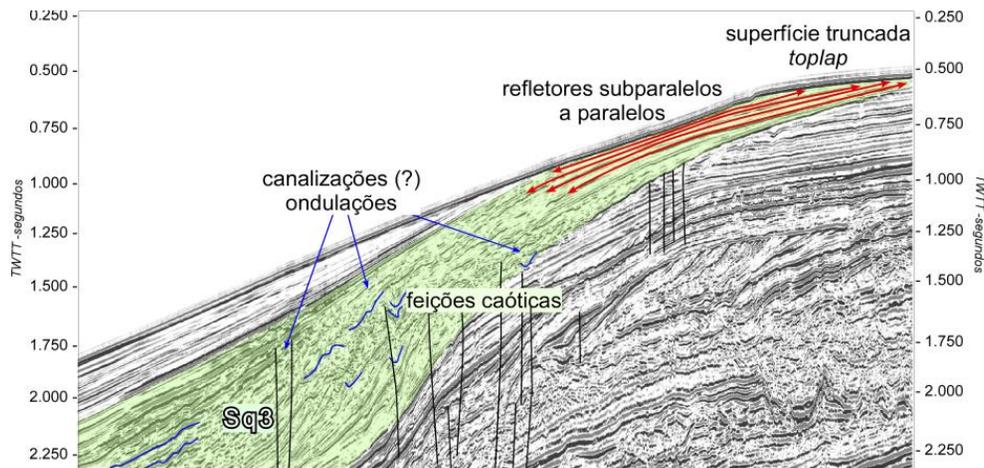


Figura 5: Porção proximal representada por uma seção sísmica. Observe as canalizações de pequeno porte, feições caóticas, refletores onlapantes e superfícies truncadas na região da quebra do talude.

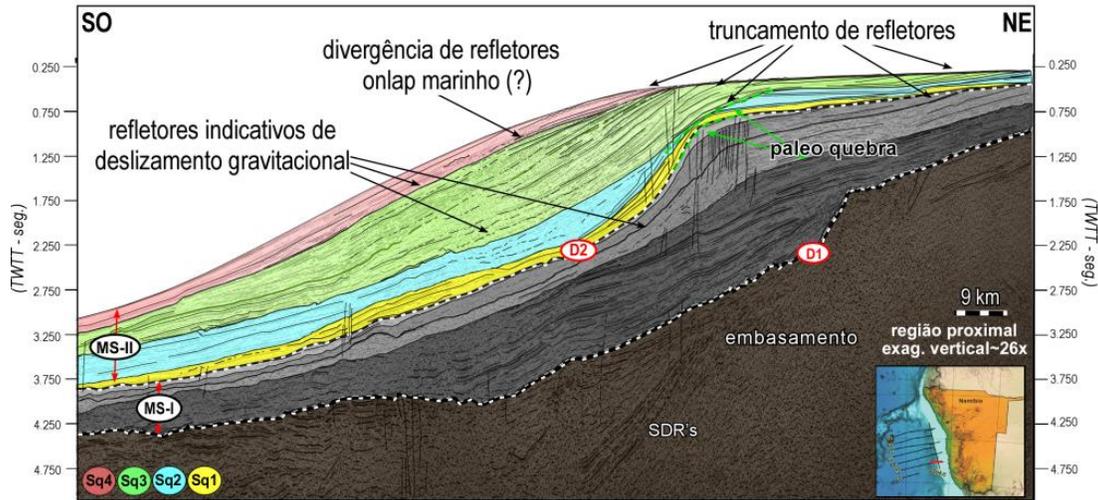


Figura 6: Seção sísmica da região proximal ilustrando as diferentes seqüências da MS-II. Note que os paleotaludes se apresentam mais íngremes na MS-I, enquanto as paleoquebras da plataforma na MS-II se tornam cada vez mais suaves, acompanhadas de um abaulamento na região do talude onde se observa uma maior espessura. Em contrapartida, a região da plataforma externa apresenta uma espessura muito menor quando comparada à paleo plataforma da MS-I.

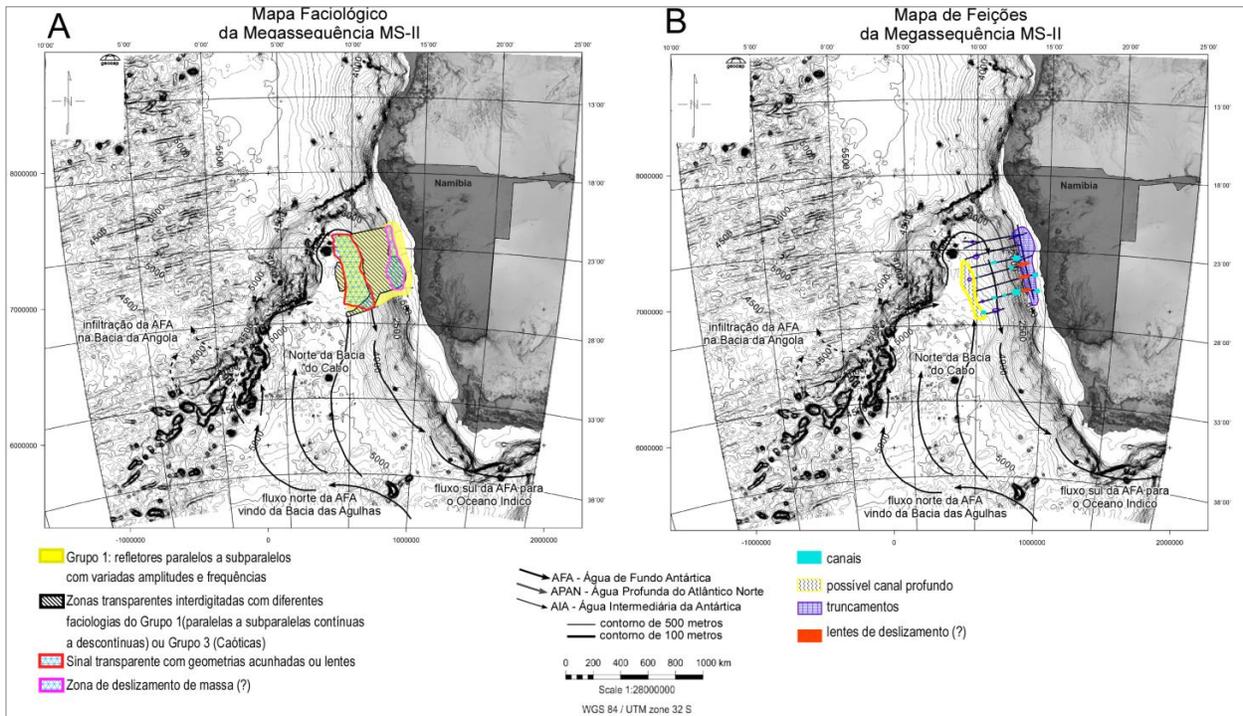


Figura 7: Mapas faciológico (A) e de feições (B) da área de estudo, resumindo a análise e interpretações feitas para o presente trabalho. Ambos os mapas mostram feições e faciologias associadas a processos de correntes de fundo e fluxos gravitacionais na região de estudo.