

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas nos pontais arenosos da lagoa dos Patos, RS, Brasil

Carla Mandrácio Pereira, Jair Weschenfelder, Iran Carlos Stalliviere Corrêa

Pesquisas em Geociências, 36 (1): 23-35, maio/ago., 2009.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/17872>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2009.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas nos pontais arenosos da lagoa dos Patos, RS, Brasil

Carla Mandrácio PEREIRA, Jair WESCHENFELDER & Iran Carlos Stalliviere CORRÊA

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15.001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: mandracio@yahoo.com.br; jair.weschenfelder@ufrgs.br; iran.correa@ufrgs.br

Recebido em 10/2007. Aceito para publicação em 05/2009.
Versão online publicada em 19/11/2009 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - O objetivo deste trabalho é reconhecer e mapear os elementos sísmicos arquiteturais dos pontais arenosos que ocorrem na lagoa dos Patos, os quais se encontram localizados na planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O trabalho é baseado em dados de alta frequência (kHz 3,5) e resolução, oriundos de levantamentos sísmicos realizados na lagoa dos Patos, a bordo da lancha *Larus*, da Universidade Federal do Rio Grande. Cerca de 400 km de perfis sísmicos foram coletados em várias seções. Consideraram-se, para o estudo, os perfis sísmicos obtidos próximo aos pontais arenosos da margem lagunar. A análise dos registros sísmicos permitiu o reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas que construíram os pontais arenosos da lagoa dos Patos. A progradação dos pontais arenosos é bem marcada por refletores oblíquos tangenciais que mergulham em direção ao interior da laguna. O pacote formado por estes refletores progradantes recobre um pacote de refletores subparalelos ou, às vezes, uma discordância de erosão. Ao longo dos registros, fácies sísmicas compostas por refletores paralelos, regulares e mergulhantes ocorrem no topo da sequência. Estas estão relacionadas com a sedimentação lagunar.

Palavras-chave: sismoestratigrafia, pontais arenosos, lagoa dos Patos.

Abstract - RECOGNITION AND MAPPING OF SEISMIC FACIES IN THE SANDY SPITS OF THE PATOS LAGOON, RS, BRAZIL. The main objective of this work is to recognize and map the seismic architectural elements of the sandy spits occurring in the Patos lagoon, a lagoonal body located in the coastal plain of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. The study is based on data from a high frequency (3.5 kHz) and resolution seismic survey performed in the Patos lagoon, aboard of the research vessel *Larus* of the Fundação Universidade Federal do Rio Grande. About 400 km of seismic profiles were collected in various sections. It was considered the seismic profiles recorded near the sandy spits of the lagoon margin. The analyses of the seismic records allowed the recognition and mapping of the seismic facies that built up the sandy spits of the Patos lagoon. The progradation of the sandy spits is well marked by oblique-tangential reflectors dipping to the lagoon interior. The package composed of these progradation reflectors overlies a package of subparallel reflectors or, sometimes, an erosional unconformity. Throughout the records a seismic facies composed of parallel, regular, and gentle dipping reflectors occurs in the top of the sequence. It was related to the lagoonal sedimentation.

Keywords: sismoestratigraphy, sandy spits, Patos Lagoon.

1. Introdução

Dados sísmicos obtidos com perfiladores de fundo e subfundo, operando em alta frequência, são comumente utilizados para a análise dos ambientes de sedimentação. A

frequência nesses equipamentos geralmente varia de 3,5 a 12 kHz, resultando em uma alta resolução dos refletores de subsuperfície, porém com baixa penetração no pacote sedimentar, geralmente inferior a 30 m.

São poucos os trabalhos publicados que utilizaram dados sísmicos de alta resolução para o estudo da região costeira do Rio Grande do Sul (RS). Toldo (1994) e Toldo *et al.* (2000) estudaram, com o auxílio de ecogramas de 7 kHz, a sedimentação holocênica na lagoa dos Patos. Esses autores identificaram um refletor de subsuperfície que marcar o limite Pleistoceno/Holoceno no interior da lagoa. Ortiz (1995) utilizou segmentos desses mesmos ecogramas na identificação do canal fluvial pleistocênico do rio Camaquã, o qual desemboca na lagoa dos Patos.

Corrêa *et al.* (2003, 2004) apresentaram os resultados de um levantamento sísmico de alta resolução, onde foi observada a presença de estruturas de barreira no subfundo do canal de acesso à lagoa dos Patos, em Rio Grande, RS. Através desses mesmos dados sísmicos, Weschenfelder (2005) e Weschenfelder *et al.* (2005a) apresentaram o estudo de elementos arquiteturais do substrato da lagoa dos Patos, onde estabeleceram três sequências deposicionais e suas diversas fácies sísmicas constituintes. Weschenfelder *et al.* (2005b) revelaram a presença de um paleocanal nas proximidades do canal da Barra Falsa, próximo a cidade de Bojuru. Ainda baseados nos mesmos dados de 3,5 kHz, Weschenfelder *et al.* (2006), Weschenfelder *et al.* (2005c) e Vasconcellos (2006) apresentaram acumulações de gás raso nos sedimentos da lagoa dos Patos.

Este trabalho tem como objetivo principal o reconhecimento e mapeamento dos elementos arquiteturais sísmicos que compõem os pontais arenosos da lagoa dos Patos. O estudo é baseado na análise de dados sísmicos de alta frequência (3,5 kHz) e resolução, levantados no interior do corpo lagunar. Foi dada ênfase aos perfis sísmicos posicionados próximos aos diversos esporões arenosos da lagoa. O reconhecimento e mapeamento das fácies sísmicas do substrato da lagoa dos Patos, objetiva trazer novos elementos para os estudos relacionados à evolução geológica do corpo lagunar.

2. Área de estudo

A planície costeira do RS consiste na parte superficial da Província Costeira do Rio Grande do Sul, representando uma ampla área plana de terras baixas que se alonga por 600 km, na direção SW-NE. Possui largura média de 60-70 km na porção centro-sul e de 15-20 km na porção

norte. A área superficial é ocupada, em sua maior parte por um sistema de lagos costeiros, numa área de 33.000 km².

O setor das terras baixas, desta planície costeira, se compartilha em termos geomorfológicos em: Planície Aluvial Interna, Barreira das Lombas, Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, Barreira Múltipla Complexa e Sistema Lagunar Patos-Mirim (Villwock & Tomazelli, 1995)

A lagoa dos Patos é um dos elementos fisiográficos mais marcantes da planície costeira do RS. Consiste em uma laguna de captação da rede de drenagem da Bacia do Sudeste do Rio Grande do Sul e de Nordeste da República do Uruguai, tendo como principal tributário o complexo Guaíba, situado ao norte do corpo lagunar. A área total da bacia de drenagem alcança 180.000 km², cujas águas escoam para o oceano Atlântico através do canal de Rio Grande (Toldo, 1994).

As fácies sedimentares que se acumularam na Província Costeira do Rio Grande do Sul, durante o Cenozóico, são de natureza predominantemente clástica-terrigena providas das terras altas do oeste. Essa deposição se deu através de processos desenvolvidos em diversos ambientes deposicionais costeiros ali instalados.

O conceito de sistema deposicional foi usado por Villwock & Tomazelli (1995) para agrupar as fácies sedimentares da região costeira do RS em dois tipos de sistemas deposicionais siliciclásticos: Sistema de Leques Aluviais e Sistema tipo Laguna-Barreira.

Em um estudo detalhado sobre a lagoa dos Patos, Toldo (1994) a descreve como um corpo d'água costeiro extenso (10.000 km²), raso (profundidade média de 6 m) e com largura variando entre 10 e 60 km. O comprimento total chega a 240 km, sendo que possui aproximadamente 180 km entre os pontais de Itapuã e da Feitoria, correspondendo ao sistema lagunar, e aproximadamente 60 km de comprimento entre o pontal da Feitoria e o Canal de Rio Grande, correspondendo ao sistema estuarino.

A lagoa possui uma grande extensão superficial se comparada com sua pequena profundidade, gerando assim uma seção transversal que lembra a forma de um prato. Tal forma, definida por elementos batimétricos e sedimentológicos, permite dividir a lagoa, em relação ao relevo submerso, em duas regiões morfológicas. A primeira região é a margem lagunar, que se desenvolve sobre depósitos costeiros constituintes dos sistemas deposicio-

nais de leques aluviais e do tipo 'laguna/barreira'. A segunda região é o piso lagunar, correspondente a um fundo plano que se desenvolve abaixo da isóbata de -5 m, ocupando aproximadamente 60 % da área total da lagoa.

Nas margens da lagoa dos Patos ocorrem diversos esporões arenosos, uma feição marcante devido a sua magnitude e também importante pelo seu registro geológico em relação aos processos sedimentares. Esses esporões são também chamados de pontais arenosos, projetando-se para o interior da lagoa por distâncias aproximadas de 5 a 25 km e com altura

média de 1 m.

Ainda segundo Toldo (1994), cada pontal cresce com uma direção distinta, porém se desenvolvem sobre uma superfície submersa rasa de -1 m. Na margem lagunar oeste crescem os esporões: Pontal de Santo Antônio, Pontal Dona Helena, Pontal Dona Maria, Pontal do Vitoriano, Pontal do Quilombo e Pontal da Feitoria. Na margem lagunar norte crescem os Pontais das Desertas e do Abreu. Na margem leste crescem mais cinco esporões: Pontal do Anastácio, Pontal de São Simão, Pontal Cristóvão Pereira, Pontal do Bojurú e Pontal dos Lençóis (Fig. 1).

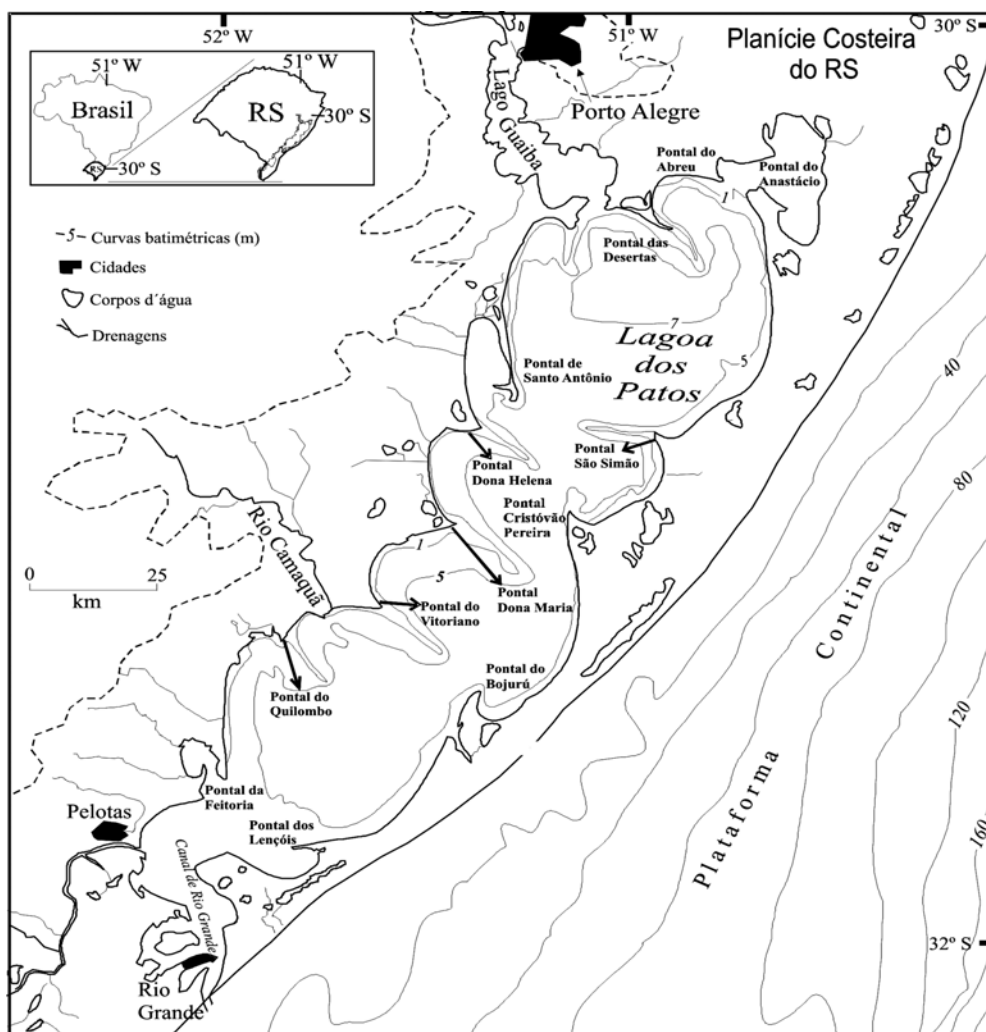


Figura 1. Mapa de localização dos pontais arenosos da lagoa dos Patos.

3. Materiais e métodos

O levantamento de perfis sísmicos na lagoa dos Patos foi obtido a bordo da lancha LARUS da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), em dezembro de 2002. Na

ocasião foram levantados em torno de 400 km de perfilagem sísmica, distribuídos em 12 perfis (Fig. 2). A rota e o posicionamento dos perfis foram efetuados com o auxílio de um sistema diferencial de posicionamento por satélite (DGPS).

Os dados sísmicos foram obtidos com um equipamento perfilador de subsuperfície *GeoAcoustics*, sistema análogo e digital, operando na frequência de 3,5 kHz, associado com o processador digital com avançado sistema de aquisição, gravação, correção de imagem, análise do sinal, geração, impressão e exibição dos perfis em tempo real. O sistema de aquisição sísmica era composto por: receptor Geopulse (5210A); transmissor Geopulse (5430A); transdutor (132B, com 4 elementos); impressora (EPC HSP1086); unidade de processamento (GeoPro);

unidade digital Pentium III com *software* de aquisição sonarwiz.sbp da *Chesapeake Technology, Inc.*, com acessórios e periféricos. Os dados sísmicos foram salvos em formato digital (SEG-Y), podendo, deste modo, ser utilizados em *softwares* de processamento, visualização, interpretação e edição de dados sísmicos, assim como impressos em papel termicamente ativado. Para avaliar a profundidade dos refletores sísmicos foi considerada uma velocidade média de deslocamento do sinal acústico de 1.650 m/s no pacote sedimentar e de 1.500 m/s na água (Jones, 1999).

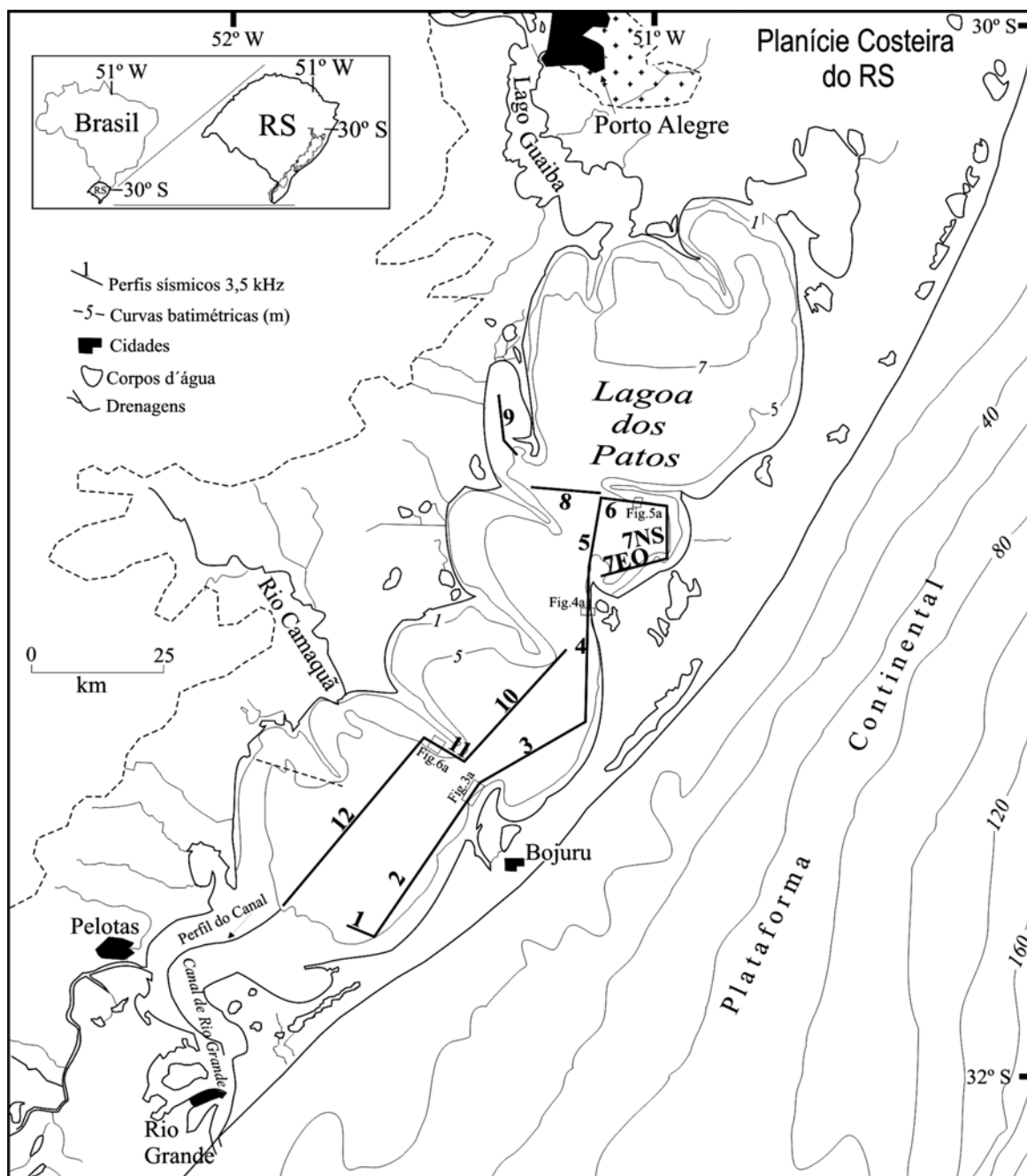


Figura 2. Mapa de localização dos perfis levantados na lagoa dos Patos e dos trechos mapeados nas figuras 3, 4, 5 e 6.

4. Resultados

Com os resultados obtidos a partir dos dados utilizados são apresentados os resultados da análise sísmica efetuada nos perfis sísmicos de alta frequência (3,5 kHz) e resolução, levantados nas proximidades de pontais arenosos da lagoa dos Patos.

Considerando a qualidade do registro sísmico, quatro perfis foram selecionados para uma análise detalhada dos elementos arquiteturais vinculados aos pontais arenosos: perfil 2, próximo ao pontal de Bojurú; perfil 4, próximo ao pontal Cristóvão Pereira; perfil 6, próximo ao pontal de São Simão; e perfil 11, próximo ao pontal Vitoriano (Fig. 2).

4.1 Perfil sísmico 2

O perfil sísmico 2 foi levantado próximo ao pontal do Bojurú (Fig. 1), que se desenvolve na margem leste da lagoa dos Patos, a cerca de 38 km da cidade de Bojurú. O pontal cresce para norte, encurvando-se para nordeste na sua extremidade. A parte emersa do pontal possui um comprimento aproximado de 12 km, enquanto seu esporão submerso cresce também para norte-nordeste, em torno de 3 km a partir da extremidade do esporão emerso.

O perfil apresenta um comprimento aproximado de 38 km, com orientação de sudoeste para nordeste. O trecho final do perfil foi levantado paralelo à projeção do pontal de Bojurú. Seu afastamento da margem lagunar varia de 4 a 8 km aproximadamente. A profundidade média da lâmina d'água, ao longo do perfil, é em torno de 6 m, exceto na parte inicial e final da linha sísmica, onde a profundidade decresce para 5 m devido à proximidade da margem lagunar. Localizadamente, nos últimos 4 km do registro sísmico do perfil 2, a profundidade da lâmina d'água aumenta gradativamente até atingir em torno de 7 m, área onde o perfil volta a se afastar da margem lagunar.

O setor NE do perfil 2 apresenta os elementos arquiteturais sísmicos correspondentes ao pontal de Bojurú. Em uma seção, de aproximadamente 5 km, do final deste perfil é possível reconhecer 3 fácies sísmicas distintas: plano-paralela, oblíqua tangencial e subparalela (Fig. 3).

A fácies plano-paralela se localiza no topo, próximo ao fundo lagunar, e apresenta maior intensidade no final da seção. A fácies oblíqua

tangencial se encontra na parte intermediária do pacote, entre a fácies plano-paralela e a fácies subparalela. A fácies subparalela aparece no final do setor de transição entre as fácies oblíqua e plano-paralela.

A análise do registro sísmico da figura 3A permitiu a interpretação sísmica apresentada na figura 3B, que demonstra refletores com uma configuração interna progradante, do tipo oblíquo tangencial, por aproximadamente 4 km. A partir daí, passa para refletores subparalelos no final da seção. Refletores paralelos se localizam ao longo de toda a seção, na sua parte mais superior.

Os refletores estão registrados em um pacote de aproximadamente 10 m de espessura, delimitado no topo pelo refletor que representa a superfície de fundo da lagoa e na base pelo refletor de múltipla de fundo. Os refletores possuem espaçamento e intensidade irregulares, apresentando-se mais fracos em alguns setores do registro sísmico.

A figura 3C consiste em uma seção de aproximadamente 250 m de comprimento do registro sísmico da figura 3A. A interpretação sísmica dessa seção é exibida na figura 3D.

Os refletores reconhecidos são progradantes, do tipo oblíquo-tangencial e paralelo regular. As reflexões oblíquas são fortemente mergulhantes no topo do pacote, suavizando em direção a base. Estas reflexões possuem um contato basal do tipo *downlap* sobre o refletor de truncamento da fácies sísmica sotoposta, que é a descontinuidade marcante de limite de sequência sismo-deposicional, reconhecida e mapeada no trabalho de Weschenfelder (2005). No seu limite superior possuem um contato do tipo *toplap* com a fácies plano-paralela sotoposta. Refletores paralelos, regulares, são registrados entre o limite de sequência e o refletor bem marcado de múltipla de fundo.

A figura 3E é uma seção em torno de 450 m de comprimento do registro da figura 3A, apresentando a fácies sísmica plano-paralela bem marcada. Essa fácies foi mapeada como constituída por refletores paralelos, regulares, que seguem o fundo da lagoa com uma leve inclinação para o interior da mesma (Fig. 3F).

No final do registro sísmico do perfil 2, o sinal acústico é afetado pela presença de gás no pacote sedimentar. Em alguns setores, devido ao gás, os refletores sísmicos são anômalos e, portanto, englobados em uma fácies sísmica do tipo "caótica". O gás se apresenta de duas formas: "bolsão de gás" e "gás disseminado".

O bolsão de gás se encontra em torno de 12 m de profundidade, no final do perfil 2. É facilmente reconhecido, pois oculta por completo as estruturas sedimentares, se apresentando sob a forma de um “caixote” de anomalias sísmicas/acústicas. Possui uma superfície de topo bem marcada por um refletor forte e contínuo (Fig. 3E).

O ‘gás disseminado’ aparece praticamente ao longo de todo perfil, sendo mais presente em algumas regiões (Fig. 3E). No entanto, este tipo de acumulação de gás não chega a mascarar por completo o registro sísmico, possibilitando ainda o reconhecimento e mapeamento dos elementos arquiteturais sísmicos.

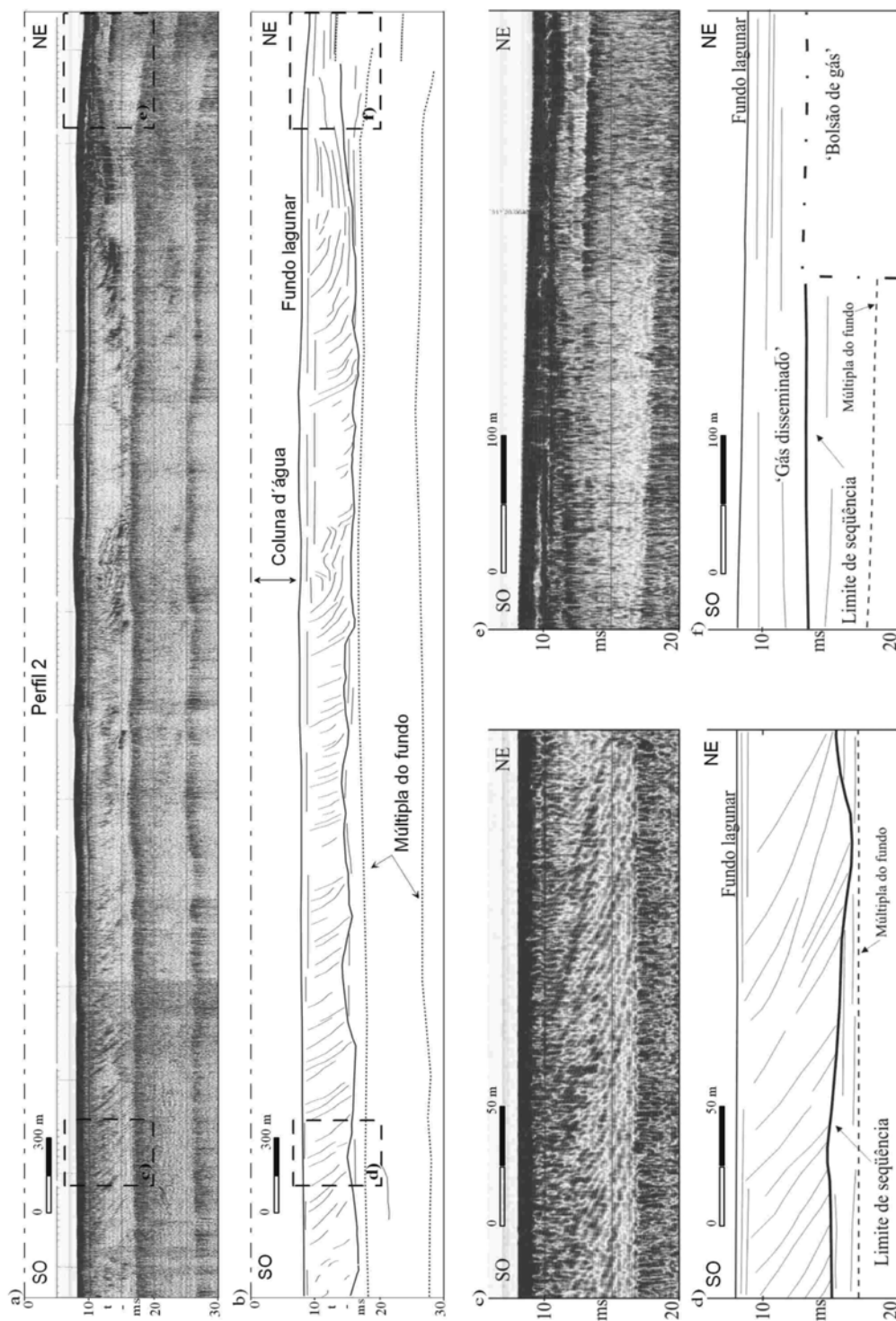


Figura 3. Fácies sísmicas identificadas no perfil 2. Registro sísmico original do final do perfil (A) e respectiva interpretação (B). Trecho/detalhe do registro sísmico (C e E) e sua interpretação (D e F). Profundidade em tempo de ida e volta, em milissegundos (ms).

4.2 Perfil sísmico 4

O perfil sísmico 4, com orientação norte-sul, foi obtido nas proximidades do pontal Cristóvão Pereira, conforme figura 1. O pontal Cristóvão Pereira cresce na margem leste da lagoa dos Patos, com orientação noroeste, e inclinando-se para norte na sua extremidade. A sua parte submersa, de -5 m, cresce 5 km a partir da extremidade do esporão emerso, com direção norte e levemente orientado para NE.

O perfil possui um afastamento médio de 4 km da margem lagunar e a lâmina d'água apresenta uma profundidade média de 5 m. O fundo lagunar exhibe ondulações suaves ao longo do perfil.

O perfil tem um comprimento total de 27 km e em alguns trechos apresenta fácies sismo-deposicionais correspondentes ao pontal Cristóvão Pereira (Fig. 4A).

A figura 4A consiste em uma seção de aproximadamente 2 km a partir de 18 km do início do perfil 4, próximo ao pontal arenoso. O registro sísmico mostra-se mais fraco em alguns setores, mas é possível reconhecer as fácies oblíqua tangencial, plano-paralela e subparalela.

As fácies sísmicas plano-paralela e subparalela se encontram na parte mais superior e inferior da seção, enquanto a fácies oblíqua se localiza na parte intermediária. A fácies oblíqua apresenta refletores mais inclinados no topo da seção, suavizando em direção a base, onde tendem a horizontais, confundindo-se com as reflexões plano-paralelas.

A figura 4B é a interpretação do registro sísmico da figura 4A. Os refletores mapeados se mostram contínuos e estão representados em um pacote de aproximadamente 10 m de espessura, limitado no topo pelo fundo lagunar e na base pelo refletor da múltipla de fundo. Esses refletores são progradantes do tipo oblíquo tangencial, paralelo regular e subparalelos. Os refletores oblíquos tangenciais estão limitados no topo e na base pelas reflexões paralelas e subparalelas. O registro sísmico apresenta ainda um bolsão de gás (Fig. 4D).

A figura 4C é uma seção em torno de 770 m do registro sísmico da figura 4A. As fácies reconhecidas no registro sísmico da figura 4C são a oblíqua e a plano-paralela. A figura 4D é a interpretação do registro da figura 4C e apresenta refletores com espaçamento e intensidade contínuos. Esses refletores são classificados como

progradantes do tipo oblíquo tangencial, paralelos regulares e subparalelos. Os refletores oblíquos terminam, no topo, em *toplap* sob as reflexões plano-paralelas, e na base, em *downlap* sobre reflexões subparalelas da fácies sotoposta.

A presença de um bolsão de gás de aproximadamente 75 m de comprimento interrompe a visualização dos refletores que representam a sedimentação da lagoa nesse trecho do perfil. Esse bolsão de gás é facilmente reconhecido por se apresentar bem destacado no registro sísmico (Fig. 4C e D).

4.3 Perfil sísmico 6

O perfil sísmico 6 foi obtido nas proximidades do pontal de São Simão, conforme observado na figura 1, numa orientação paralela ao esporão submerso do pontal. A parte emersa do pontal de São Simão desenvolve-se em torno de 10 km com direção noroeste, enquanto que o esporão submerso correspondente ao pontal apresenta comprimento de 16 km a partir da extremidade do esporão emerso e direção para oeste.

O perfil 6 de orientação E-O, possui uma extensão de aproximadamente 12 km. A maior proximidade que o perfil apresenta da margem lagunar é de 3 km do pontal de São Simão, na sua extremidade leste.

As fácies do perfil 6 que são relacionadas ao pontal de São Simão ocorrem a partir de 5,7 km da perfilagem sísmica, prolongando-se por aproximadamente 1,7 km de comprimento (Fig. 5A). A lâmina d'água apresenta profundidade média de 5 m ao longo de toda extensão do perfil 6. Duas fácies foram reconhecidas: a fácies plano-paralela situa-se no topo da seção próxima ao fundo lagunar, enquanto que a fácies oblíqua se situa sotoposta a fácies plano-paralela.

A figura 5B é a interpretação sísmica da figura 5A. Os refletores reconhecidos estão inseridos em um pacote de aproximadamente 7 m de espessura, delimitado no topo pelo fundo lagunar e na base pela reflexão da múltipla de fundo. Os refletores são paralelos regulares e oblíquos paralelos. Os refletores oblíquos se encontram abaixo das reflexões paralelas regulares e terminam em *toplap*, no seu limite superior, sob esses refletores plano-paralelos. Os refletores oblíquos paralelos possuem espaçamento e intensidade relativamente regulares.

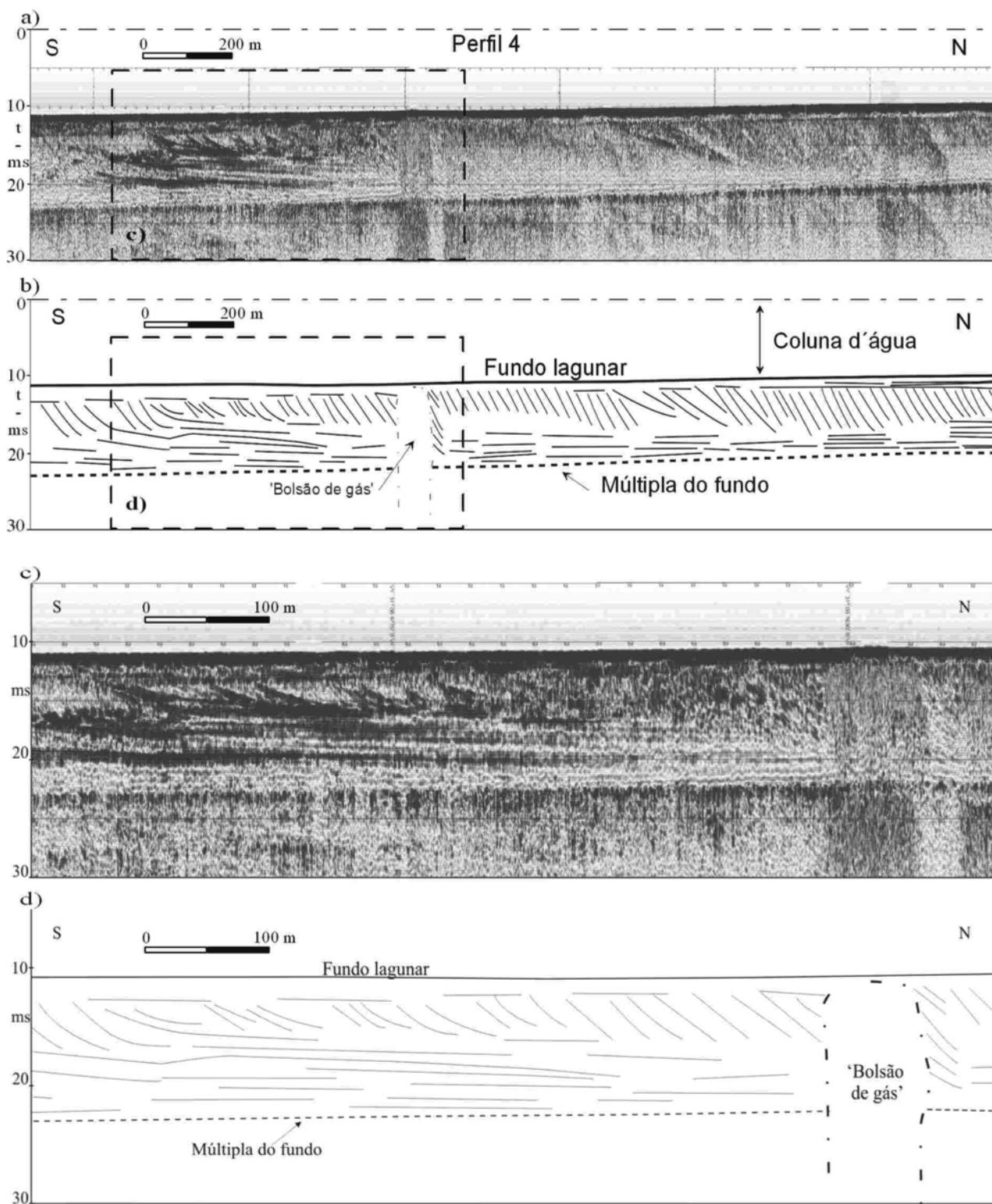


Figura 4. Fácies sísmicas identificadas no perfil 4. Registro sísmico original do final do perfil (A) e respectiva interpretação (B). Trecho/detalhe do registro sísmico (C) e sua interpretação (D). Profundidade em tempo de ida e volta, em milissegundos (ms).

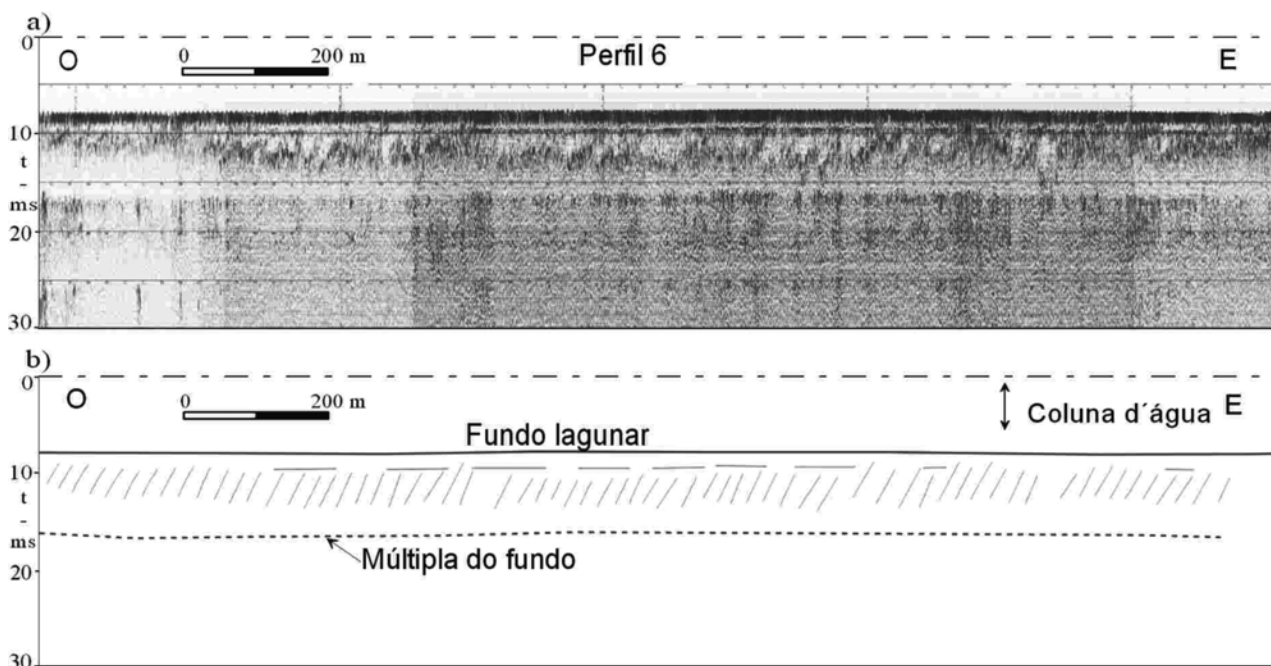


Figura 5. Fácies sísmicas identificadas no perfil 6. Registro sísmico original do final do perfil (A) e respectiva interpretação (B). Profundidade em tempo de ida e volta, em milissegundos (ms).

4.4 Perfil sísmico 11

O perfil sísmico 11 obtido nas proximidades do pontal Vitoriano, com uma orientação paralela ao esporão submerso do mesmo (Fig. 1). O pontal Vitoriano possui aproximadamente 15 km de comprimento a partir da margem oeste da lagoa dos Patos. Sua direção de crescimento é para leste, enquanto que sua parte submersa cresce para sudeste por 20 km a partir da extremidade do esporão emerso.

O perfil 11 se estende por aproximadamente 8 km, com orientação de sudeste para noroeste. A profundidade média da lâmina d'água ao longo do perfil é em torno de 5 m e o fundo da lagoa apresenta leves ondulações. A direção do levantamento sísmico correspondente ao perfil 11 é oposta à direção de projeção do pontal Vitoriano.

As fácies sísmicas que correspondem ao pontal Vitoriano começam a aparecer a partir de 1,2 km do começo do perfil sísmico, prolongando-se por aproximadamente 2,5 km. As fácies sísmicas mapeadas no perfil 11 são progradantes do tipo oblíqua tangencial, plano-paralela e subparalela. A fácies oblíqua limita-se no topo da seção sísmica pela fácies plano-paralela e na base da seção pelas fácies subparalela (Fig. 6).

A figura 6B apresenta refletores resultantes do mapeamento das fácies sísmicas da figura 6A. As reflexões possuem uma boa continuidade e são paralelas regulares, subparalelas e progradantes do tipo oblíqua tangencial. Essas reflexões oblíquas possuem espaçamento e intensidade irregulares, e se apresentam mais fracas em alguns setores do registro sísmico.

O pacote onde ocorrem essas reflexões sísmicas possui aproximadamente 8 m de espessura, limitado no topo pelo fundo lagunar e na base pela reflexão múltipla de fundo. A reflexão de múltipla de fundo aparece a 15 m e a 21 m de profundidade, repetindo assim o sinal acústico relacionado à reflexão do fundo lagunar por duas vezes.

A figura 6C representa um trecho de 550 m do registro sísmico da figura 6A e mostra mais detalhadamente a fácies sísmica oblíqua que ocorre sobre a fácies plano-paralela. Os refletores oblíquos mostram um mergulho maior no topo da seção, suavizando em direção a base. Esta fácies é composta por refletores progradantes do tipo oblíquo tangencial que possuem um contato do tipo *toplap* com os refletores paralelos regulares sobrepostos e suavizam no seu limite inferior confundindo-se com as reflexões subparalelas da base da seção.

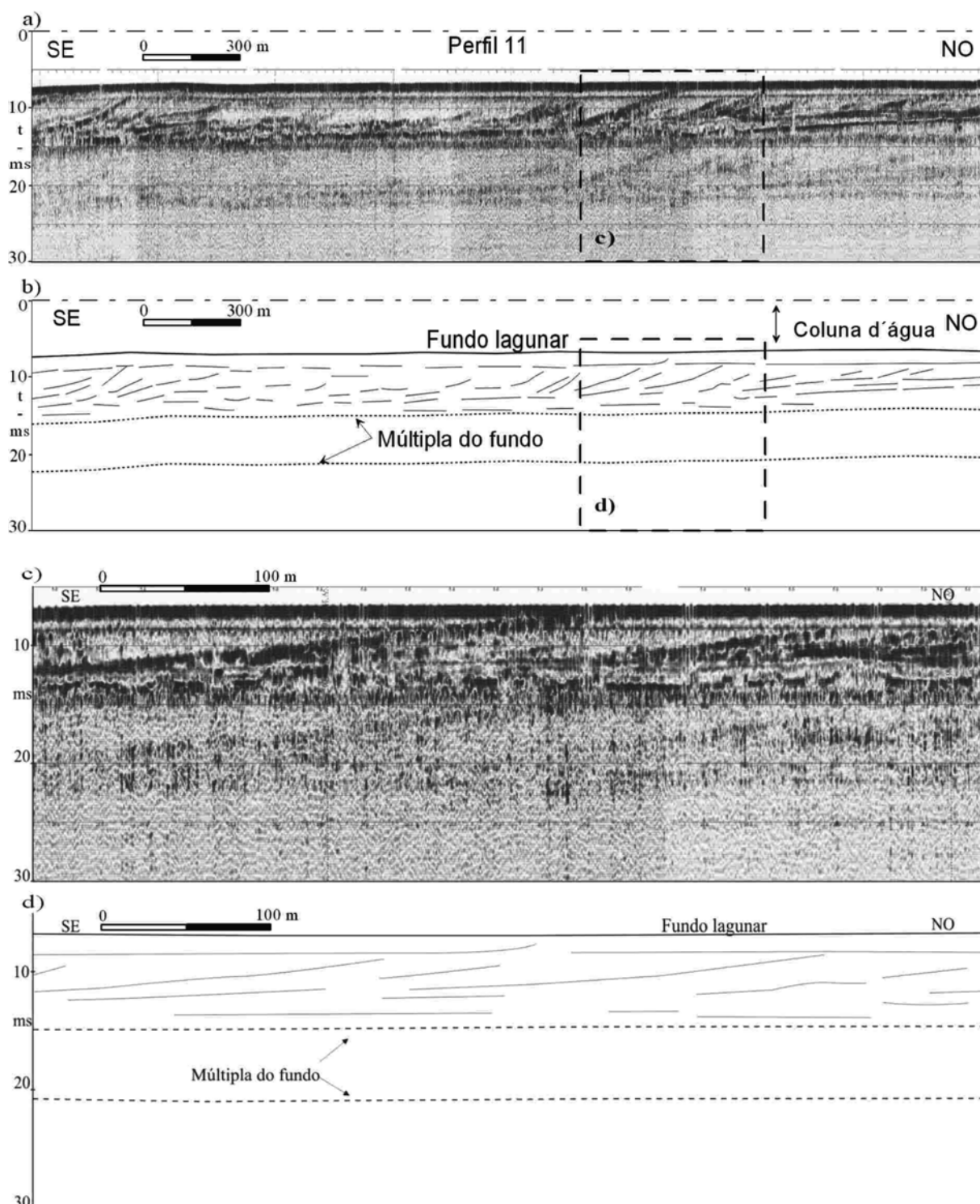


Figura 6. Fácies sísmicas identificadas no perfil 11. Registro sísmico original do final do perfil (A) e respectiva interpretação (B). Trecho/detalhe do registro sísmico (D). Profundidade em tempo de ida e volta, em milissegundos (ms).

5. Discussão

Os registros sísmicos de alta frequência se caracterizam por apresentarem, geralmente, uma boa resolução (dessimétrica a centimétrica) dos estratos sedimentares. A faixa de frequência

normalmente empregada para trabalhos de cunho geológico é de 2 a 12 kHz.

Uma classificação, para dados sísmicos de alta resolução e frequência, foi proposta nos trabalhos de Damuth (1975, 1980) e Damuth & Hayes (1977). A classificação proposta por esses

autores, em tipos de ecos, é puramente descritiva, não fornecendo uma relação direta entre o ecograma e a possível interpretação do ambiente deposicional.

Estudos recentes, baseados na análise de registros sísmicos de alta frequência e resolução, vêm contribuindo para o reconhecimento e mapeamento dos elementos arquiteturais que compõem o prisma sedimentar raso acumulado na planície costeira do estado do RS (Pereira *et al.*, 2003; Corrêa *et al.*, 2004; Toldo *et al.*, 2005; Weschenfelder, 2005; Weschenfelder *et al.*, 2005a).

Esses mesmos ecogramas foram utilizados por Pereira *et al.* (2003) no mapeamento e reconhecimento preliminar de fácies sísmicas na lagoa dos Patos, tendo como base de estudo os preceitos estabelecidos pela abordagem da sismoestratigrafia (Mitchum *et al.*, 1977).

Os dados sísmicos levantados no interior da lagoa dos Patos, e empregados no desenvolvimento do presente estudo, mostram uma boa relação da profundidade para a resolução do sinal acústico. Em consequência, foi levantado um conjunto de dados sísmicos de boa qualidade, os quais permitem o reconhecimento e mapeamento dos elementos arquiteturais do substrato da lagoa dos Patos. O estabelecimento das fácies sísmicas apresenta uma conotação genético-interpretativa destas unidades com os pontais arenosos.

O crescimento dos pontais arenosos é interpretado como consequência da hidrodinâmica atuante na lagoa dos Patos durante o Holoceno. Essas evidências foram identificadas anteriormente por Toldo (1994), que interpreta a formação dos esporões arenosos submersos como consequência das variações relativas do nível do mar durante o Holoceno, na região da planície costeira do RS. Esse mesmo autor afirma ainda que todos os esporões submersos da laguna se formaram devido a essas oscilações do nível marinho e que hoje são feições totalmente desvinculadas da dinâmica que os fez crescer.

Ainda no trabalho de Toldo (1994), o crescimento dos pontais emersos é descrito como produto da dinâmica atual, na qual o mecanismo consiste no transporte dos sedimentos ao longo da praia lagunar e sua deposição nos locais de crescimento desses esporões.

Cada pontal emerso da lagoa dos Patos cresce com uma direção distinta. Alguns crescem paralelos à direção N-S e outros perpendiculares a esta direção. Toldo (1994) afirma que a maior

parte do sistema lagunar é submetida a processos de deriva litorânea bidirecional. Os esporões arenosos emersos são orientados pelo sentido preferencial do transporte sedimentar como, por exemplo, os pontais de Santo Antônio, da Feitoria, de Bojurú e Cristóvão Pereira. No entanto, quando existe um equilíbrio na distribuição direcional do potencial de transporte sedimentar paralelo à praia, os esporões projetam-se simetricamente para o interior da laguna como, por exemplo, os pontais de Dona Helena, de Dona Maria, Vitoriano, do Quilombo, de São Simão e das Desertas.

A maior parte da superfície dos esporões submersos se encontra a uma profundidade de -1 m, sobre a qual se desenvolvem os esporões emersos. O truncamento da isóbata de -1m é interpretada como o aspecto mais saliente do crescimento dos esporões emersos sobre os esporões submersos. Toldo (1994) associou a linha isobatimétrica de -1 m a uma antiga linha de praia, a qual atuou na construção e modelagem dos esporões submersos, e a sub-sequente oscilação positiva do nível d'água estabeleceu a atual linha de praia lagunar e possibilitou o crescimento dos esporões emersos.

A fácies progradante do tipo oblíqua tangencial, mapeada neste trabalho, é interpretada como a fácies típica de crescimento dos pontais arenosos. Essa fácies representa a progradação dos estratos em direção ao interior da laguna sobre uma superfície sotoposta. As fácies de progradação são nitidamente evidenciadas no registro sísmico de perfis localizados adjacentes aos diversos pontais arenosos da lagoa dos Patos. As figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam os registros sísmicos de seções levantadas próximas e paralelas aos pontais de Bojurú, Cristóvão Pereira, São Simão e Vitoriano, respectivamente. Nessas figuras são evidenciadas as fácies de crescimento desses pontais.

Certos perfis levantados na lagoa dos Patos, apesar de posicionados paralelos ou subparalelos aos pontais arenosos, não apresentam, no seu registro sísmico, a estruturação interna que possa ser relacionada ao desenvolvimento dos pontais. Isso pode ocorrer devido a grande distância do perfil ao pontal. Esses registros sísmicos remotos aos pontais apresentam elementos arquiteturais representantes da sedimentação de outros setores da lagoa dos Patos, como é o caso dos perfis 1, 7 (NS), 8, 9, 10 e 12 (Fig. 2).

Alguns perfis sísmicos não apresentaram no seu registro fácies interpretadas como de crescimento de pontal devido à presença de gás na pilha sedimentar. A presença de gás causa anomalias acústicas no registro, que apresenta então a fácies classificada de “caótica”. É provável que esses perfis pudessem apresentar a fácies progradante de crescimento de pontal, se não fosse pela presença do gás, pois se localizam próximos e paralelos aos pontais arenosos da lagoa dos Patos. Isso ocorre nos perfis 3, 5 e 7 (EO) (Fig. 2).

O comportamento geoacústico dos sedimentos do substrato de diversos locais da lagoa dos Patos foi afetado pela presença de gás no pacote sedimentar. As acumulações de gás nos sedimentos ocasionam anomalias acústicas que são registradas na forma de reflexões anômalas. Na figura 3E o gás ocorre de duas maneiras: “bolsão de gás” e “gás disseminado”.

Weschenfelder *et al.* (2005b, 2006) e Vasconcellos (2006) descrevem as acumulações de gás raso nos sedimentos da lagoa dos Patos. Segundo esses trabalhos, as acumulações de gás raso em alguns setores da laguna são geralmente controladas pela distribuição espacial das fácies sedimentares, sua permeabilidade e seu conteúdo original de matéria orgânica.

A análise dos registros sísmicos dos pontais da lagoa dos Patos demonstra um pacote sedimentar essencialmente arenoso. As superfícies de crescimento dos pontais foram geradas por pequenas alterações nos processos deposicionais atuantes, ocasionando, portanto, as diferenças de impedância acústica registrada na forma de refletores nos perfis sísmicos aqui analisados.

6. Conclusões

A abordagem da ‘*estratigrafia sísmica*’ adotada no desenvolvimento deste trabalho se mostrou válida e trouxe bons resultados para que fossem atingidos os objetivos propostos. Como consequência do emprego dessa abordagem, o estabelecimento dos elementos arquiteturais sismo-deposicionais dos pontais arenosos da lagoa dos Patos pôde ser efetuado através da análise da configuração dos refletores sísmicos em registros de alta frequência e resolução. Os perfis sísmicos de alta frequência (3,5 kHz) analisados também apresentaram alta resolução

dos elementos deposicionais. Tal fato conferiu uma boa qualidade ao registro.

O levantamento sísmico de perfis, localizados próximos aos pontais arenosos da lagoa dos Patos, registraram as diversas fácies sísmicas relacionadas ao crescimento dos mesmos, as quais se projetam da margem em direção as partes mais internas do corpo lagunar.

O estabelecimento das fácies sísmicas relacionadas aos pontais arenosos foi possível, principalmente, através da análise da configuração interna e a terminação lateral dos refletores sísmicos. Desta forma foram reconhecidas diversas fácies sísmicas: plano-paralela, subparalela, caótica e progradante do tipo oblíqua tangencial.

A fácies plano-paralela ocorre perto da superfície de fundo da lagoa dos Patos, sendo interpretada como relacionada à sedimentação lagunar. Ocorre em todos os registros sísmicos analisados, recobrando as demais fácies sismo-deposicionais. A fácies subparalela foi evidenciada, sobretudo na base do pacote de refletores da fácies oblíqua tangencial. Geralmente os refletores de crescimento do pontal se assentam sobre a fácies subparalela.

A fácies caótica, caracterizada pela ocorrência de reflexões sismo-acústicas anômalas, ocorreu em vários setores dos registros sísmicos, evidenciando a presença de gás no pacote sedimentar. O gás raso no pacote sedimentar ocorre na forma de ‘bolsões de gás’ e de ‘gás disseminado’, algumas vezes dificultando ou, até mesmo, impedindo o mapeamento dos elementos sísmicos relacionados à deposição sedimentar na área.

A fácies progradante do tipo oblíqua tangencial foi interpretada como a fácies típica de crescimento dos pontais arenosos da lagoa dos Patos. Essa fácies é facilmente mapeada pelo reconhecimento de refletores que se apresentam oblíquos, mergulhantes e progradantes em direção ao interior da laguna.

O estudo aqui desenvolvido, baseado no reconhecimento e mapeamento dos elementos arquiteturais sísmicos que compõem o prisma sedimentar raso do substrato da lagoa dos Patos, traz novos e importantes elementos para os estudos relacionados à evolução geológica e paleogeográfica do sistema lagunar do estado do Rio Grande do Sul.

Agradecimentos - Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geociências - PPGGEO da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - CECO da UFRGS. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de mestrado (Processo nº 131426/2006-0) e pela bolsa de produtividade (Processo nº 303956/2006-2). À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS, pelo auxílio à pesquisa (Processo nº 0521261). Ao Laboratório de Oceanografia Geológica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, pelo uso da lancha oceanográfica *LARUS* no levantamento sísmico na lagoa dos Patos. À empresa Geowork Estudos Ambientais Ltda, pelo uso dos equipamentos de sísmica e do acompanhamento técnico necessário às tarefas de embarque e levantamento sísmico.

Referências

- Corrêa, I.C.S., Aliotta, S., Weschenfelder, J. 2003. Evidências de estruturas de barreira no canal de acesso à laguna dos Patos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9., 2003. Recife-PE. *Boletim de Resumos Expandidos*, Recife, ABEQUA, CD-ROM, 3 p.
- Corrêa, I.C.S., Aliotta, S., Weschenfelder, J. 2004. Estruturas e evolução dos cordões arenosos pleistocênicos no canal de acesso à laguna dos Patos - RS. *Pesquisas em Geociências*, 31(2):69-78.
- Damuth, J.E. 1975. Echo character of the western Equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments. *Marine Geology*, 18:17-45.
- Damuth, J.E., 1980. Use of high-frequency (3.5–12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep sea: a review. *Marine Geology*, 38:51-75.
- Damuth, J.E., Hayes, D.E. 1977. Echo character of the East Brazilian Continental Margin and its relationship to sedimentary processes. *Marine Geology*, 24:73-95.
- Jones, E. J. W. 1999. *Marine Geophysics*. New York Wiley & Sons, 466p.
- Mitchum, R.M., Jr., Vail, P.R., Sangree, J.B. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E. (Ed.). *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, Tulsa, Okla. 26:117-133.
- Ortiz, J.D.R. 1995. *O preenchimento sedimentar do vale inciso do Rio Camaquã, Quaternário da Província Costeira do RS*. Porto Alegre, 182p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pereira, C.M., Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S. 2003. Reconhecimento e mapeamento de fácies sísmicas na lagoa dos Patos. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15. 2003, Porto Alegre-RS. *Boletim de Resumos*, Porto Alegre, p.23.
- Toldo, E.E., Jr. 1994. *Sedimentação, predição do padrão de ondas e dinâmica sedimentar da antepaia e zona de surfe do sistema lagunar da lagoa dos Patos*. Porto Alegre, 143p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Toldo, E.E., Jr., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S., Almeida, L.E.S.B. 2000. Holocene sedimentation in lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 16 (3):816-822.
- Toldo, E.E., Jr., Dillenburg, S.R., Corrêa, I.C.S., Almeida, L.E.S.B., Weschenfelder, J. 2005. Sedimentação na Lagoa dos Patos e os impactos ambientais. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10, 2005, Guarapari, *Boletim de Resumos*, Guarapari, ABEQUA, 1 CD-ROM.
- Vasconcellos V.E.B. 2006. *Acumulações de gás raso no substrato da lagoa dos Patos reveladas por sísmica de alta resolução*. Porto Alegre. 73p. Trabalho de Conclusão do Projeto Temático em Geologia III), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8:1-45.
- Weschenfelder, J. 2005. *Processos sedimentares e variação do nível do mar na região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre. 130p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S., Aliotta, S. 2005a. Elementos arquiteturais do substrato da lagoa dos Patos revelados por sísmica de alta resolução. *Pesquisas em Geociências*, 32(2):57-67.
- Weschenfelder, J., Medeanic, S., Corrêa, I.C.S., Aliotta, S. 2005b. Holocene paleoenvironment of the Bojuru region, southern Brazil. *Journal of Coastal Research* (aceito).
- Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S., Ayup-Zouian, R. N., Aliotta, S., Pereira, C.M., Vasconcellos, V.E.B. 2005c. Gas accumulations revealed by high-resolution seismics in the Patos lagoon area, southern Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GAS IN MARINE SEDIMENTS, 8., 2005, Vigo-Espanha. *Abstracts...*, Vigo, p. 133.
- Weschenfelder, J., Corrêa, I.C.S., Aliotta, S., Pereira, C.M., Vasconcellos, V.E.B. 2006. Shallow gas accumulations in the sediments of the Patos lagoon area, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(3):607-614.