

EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE UM ESPORÃO ARENOSO NA DESEMBOCADURA DA LAGUNA DOS PATOS, RS, BRASIL – RESULTADO DE 85 ANOS DE MONITORAMENTO

José A. F. Antiqueira¹; Lauro J. Calliari¹; José A. S. Fontoura².

¹ Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Departamento de Geociências, Laboratório de Oceanografia Geológica, Av Itália km 8 – Caixa Postal 474. Rio Grande, RS, Brasil.

Phone: +53 233 6605, email jantiqueira@hotmail.com e tsclauro@super.furg.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). Av. Bento Gonçalves, 95000, Campus do Vale, Viamão, RS, email fontoura@dmc.furg.br

RESUMO

No estuário da Laguna dos Patos, os padrões de circulação são dirigidos principalmente pelo vento e pela descarga de água doce. A direção do vento influencia os padrões de circulação local. Sob ventos de NE o gradiente de pressão aumenta e a retração das águas costeiras favorece a descarga lagunar. Contrariamente, ventos de SE e SO causam a inversão do fluxo aumentando o nível de água. Embora esteja localizada em uma área de micromaré (0,47m), as marés meteorológicas induzidas por ventos de sul podem elevar o nível acima de 2 m. Este fluxo bidirecional propicia o desenvolvimento de um delta de maré vazante e um esporão arenoso adjacente a foz. Fotografias aéreas combinadas com cartas batimétricas permitiram traçar a evolução morfológica do esporão arenoso. Durante este período o esporão cresceu 427m na direção noroeste ao mesmo tempo em que seu comprimento na direção norte sul cresceu 304,5m. A origem, evolução e estabilização destas feições ao longo da margem leste tem sido frequente mesmo após a construção de dois molhes convergentes. O propósito deste trabalho é discutir o modelo de evolução deste esporão arenoso sujeito a um fluxo bi-direcional em uma costa sujeita a influência de marés meteorológicas.

ABSTRACT

In the estuarine portion of the Patos Lagoon circulation patterns are driven mostly by wind and freshwater. Wind direction influences circulation patterns. Under NE winds a pressure gradient rise along the inlet and the retreating coastal waters favors flushing of the lagoon water. Contrarily, SE and SW winds cause the inversion of flow raising the water level in the northern part of both the inlet and the main lagoon body. Storm surges induced by southern winds can raise the level up to 2m. As a result of the strong bi-directional flow an ebb tide delta and a spit developed in the inner portion of inlet. Aerial photos, combined with bathymetric charts allowed to track the morphological evolution of a sand spit located at the extreme end of the inlet. During this period, the spit has grown 427m in the northwest direction at the same time its length north to south has grown 304,5m. The origin, evolution and stabilization of these features along the east margin had been quite frequent even after the construction of two jetties. The aim of this work is to discuss the evolutionary model of this sand spit.

Palavras-Chave: marés meteorológicas, esporões arenosos, Laguna dos Patos.

1.0. INTRODUÇÃO

Os pontais encontrados no interior da Laguna dos Patos estão associados ao transporte litorâneo resultante da incidência oblíqua das ondas (Toldo, 1994). No entanto, os pontais encontrados na desembocadura da laguna constituem uma feição deposicional governada pela interação entre os processos oceânicos e a descarga lagunar. A bidirecionalidade das correntes que atuam nesta região e a intensidade das marés meteorológicas constituem importantes fatores na gênese destes pontais. Um aprofundamento no estudo da hidrodinâmica local é decisivo para o entendimento da geração e estabilidade destas feições geomorfológicas, visto que, constituem corpos extremamente frágeis (Komar, 1976), cuja evolução apresenta implicações importantes no gerenciamento costeiro, envolvendo transporte de sedimentos e alteração da linha de costa.

2.0. ÁREA DE ESTUDO

A Laguna dos Patos, localizada no sul do Brasil e orientada segundo a direção NE-SO, encontra-se entre 30° S e 32° S, possui 250 km de comprimento, largura média de 40 km e área total de 10.360 km². Classificada

como lagoa rasa, sua profundidade média é de 5 m (Möller, 1996).

Segundo Kjerfve (1986) trata-se de uma laguna costeira estrangulada, onde a circulação é condicionada pelo vento e pela descarga de água doce. A conexão com o mar é feita por um canal natural, com largura entre 1 e 2 km e 22 km de comprimento (Fig. 1).

O pontal localizado entre 32°9' e 32°10' S e 52°4' e 52°6' W, encontra-se enraizado a parte interna da base do molhe leste (Fig. 2).

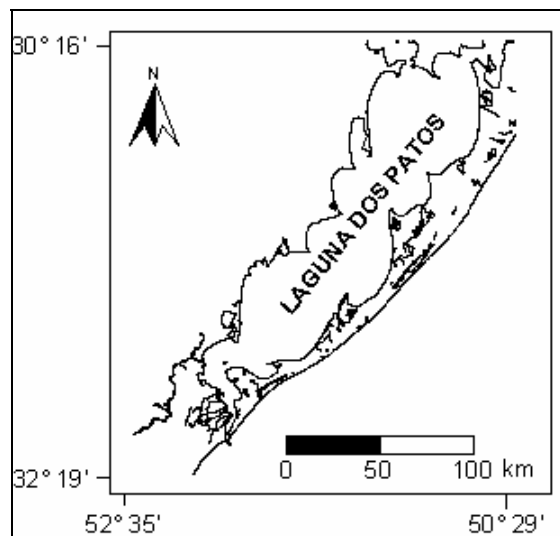


Fig. 1 – Laguna dos Patos.

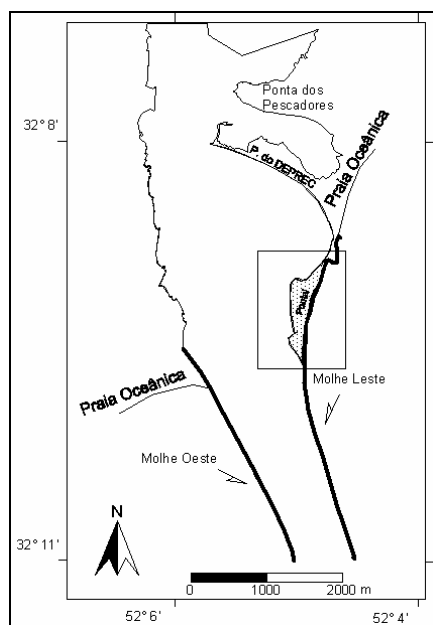


Fig. 2 – Desembocadura da Laguna dos Patos.
Localização do Pontal.

3.0. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Evolução do Estuário

A Laguna dos Patos, inserida na Província Costeira, é cercada pelos depósitos terciários e quaternários das terras baixas do sistema lagunar Patos-Mirim e da barreira arenosa multi-complexa (Delaney, 1965; Villwock, 1984). A história evolutiva do sistema Patos-Mirim foi influenciada pelo desenvolvimento de uma barreira múltipla resultante das mudanças eustáticas do nível do mar, durante o quaternário (Villwock, 1978). No mínimo quatro ciclos sucessivos de transgressão e regressão depositaram barreiras arenosas descontínuas paralelas à costa. O transporte litorâneo isolou progressivamente o sistema lagunar, com exceção do canal que permite que as águas da bacia de drenagem atinjam o oceano (Calliari, 1998).

As características geomorfológicas do sistema lagunar corroboram o modelo evolutivo de lagunas costeiras, que concebe a segmentação lagunar a partir do modelo evolutivo descrito por Zenkovitch (1967) e compilado por Rosen (1975).

A última transgressão holocênica (5.500 A.P.) além de moldar os depósitos da barreira III depositou uma barreira externa (barreira IV) formada por cordões arenosos lineares e vários sistemas de dunas. Existem dois enfoques diferentes para a evolução estuarina. O primeiro apresentado por Godolphin (1976) postula a interação entre o fluxo lagunar e a hidrodinâmica costeira como sendo o principal fator evolutivo do estuário, enquanto que Long & Paim (1987) elegem os processos fluviais como os principais responsáveis pelas migrações cíclicas do canal principal.

Com base na análise geomorfológica de imagens de satélites LONG & PAIM (1987) interpretaram que a região inferior da Laguna dos Patos apresenta as características de um delta interno em função da morfologia e orientação dos corpos arenosos, ainda que as marés astronômicas sejam de pouca importância.

As alterações na margem leste do estuário antes da construção dos molhes eram resultado de processos de formação e exposição subaérea do banco tendo como resultado um pontal recurvado e uma enseada, os quais mantinham uma certa periodicidade. Após a construção dos molhes o processo praticamente se manteve (Godolphin, 1976).

3.2. Características Hidrográficas

Os padrões de circulação do estuário são governados pelo vento e pelos ciclos hidrológicos da bacia hidrográfica do sudeste. Os ventos reinantes e dominantes de NE geram um aumento no gradiente de pressões ao longo do corpo principal da laguna, sendo que o gradiente formado entre o canal de acesso e a região costeira adjacente favorece a descarga continental. Contrariamente, ventos de SE e SO causam uma inversão de fluxo no corpo principal da laguna, aumentando o nível da água na porção norte (Motta, 1969).

No canal as velocidades de descarga podem atingir 1,7-1,9 ms^{-1} depois de prolongados períodos de chuva, enquanto que os picos da corrente na enchente podem alcançar 1,3 ms^{-1} . (DNPVN, 1941; Vranjac, 2000).

Apesar de ser uma região de marés astronômicas médias entorno de 0,47 m a ocorrência cíclica de frentes frias da origem a tempestades costeiras capazes de elevar o nível em até 2 m.

4.0. METODOLOGIA

A evolução geomorfológica do pontal foi estabelecida por análises comparativas entre cartas batimétricas (1918, 1922, 1941, 1956, 1996), e seqüências históricas de fotografias aéreas (1947, 1964, 1975 e 1981) nas escalas 1:20000 e 1:40000. Adicionalmente, foram usadas fotografias digitais de 1998, e 2003 na escala 1:55000.

5.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O surgimento do pontal deu-se no ano de 1918. Desde de então se processaram muitas variações no volume e no formato do pontal, intercalando períodos de acresção e erosão. Entre 1918 e 2003 (Fig. 3A a 3H) o esporão cresceu 427 m para NW e 304,5 m na direção N-S.

A partir de 1922, o pontal iniciou seu desenvolvimento em direção ao norte (Fig. 3B). Em 1947 (Fig. 3C), o pontal apresentava uma curvatura para noroeste, indício de transporte litorâneo para oeste (Silva, 2001). Entre os anos de 1947 e 1964, (Fig. 3D) o pontal sofreu um intenso processo erosivo na sua porção norte culminando com a completa translação desta porção para leste numa posição paralela a situação anterior e com um crescimento adicional para o norte. Este novo corpo continuou seu processo de crescimento em direção ao norte até o ano de 1981 quando então se separou do pontal e formou uma nova feição independente (Fig. 3E). Atualmente, esta feição é denominada Pontal do DEPREC, e foi utilizada durante o período de ampliação dos molhes como atracadouro para descarga de materiais.

Entre 1975 e 2003, a extremidade sul do pontal entrou em processo erosivo que perdurou até 2003 conforme pode ser visto na seqüência composta pelas figuras 3F, 3G e 3H. Também a partir de 1975 até 2003 denota-se ciclo acrescivo, na extremidade norte, conforme mostrado na figura 3F, 3G e 3H. Observando-se o comportamento do pontal ao longo de sua vida desde 1918 até 2003 denota-se um comportamento cíclico com erosão entre 1918 e 1922, seguido de um período de acresção entre 1922 e 1975, seguido de um período erosivo predominante entre 1975 e 2003. Esse mesmo tipo de comportamento já havia sido identificado por Godolphin (1976) para esporões similares que atualmente se encontram em posições mais internas do estuário.

Em 1981, o Pontal do DEPREC, mais ao norte, apresentava características do modelo preconizado por Hayes (1979) para regiões de meso-maré.

Juntamente com a análise evolutiva do pontal realizou-se a avaliação do comportamento batimétrico do canal intermolhes para o período 1918-1996. Notou-se a formação de uma ‘fossa’ longitudinal com profundidade variável superior a 20 m, resultado de um processo contínuo de erosão ao longo do Molhe Leste. Esta ‘fossa’ longitudinal fica separada do canal de navegação por um banco axial (Fig. 4). Os Eng. Duprat da Silva e Hoffman (Motta, 1969), atribuíram a primazia dos efeitos de enchente como os responsáveis pela formação da “fossa”, tendo sido este processo originalmente descrito pelo Eng. Gaffrée (1927, apud Motta, op cit.).

A formação desta ‘fossa’ bem como o transporte de areia para o interior do estuário ocorre em função dos fortes ventos do quadrante sul que revolvem e transportam os sedimentos arenosos costeiros valendo-se das correntes de enchente, posteriormente os mesmos são retrabalhados pela hidrodinâmica peculiar da região intermolhes.

A origem dos esporões esta vinculada aos vários fatores que se apresentam a seguir: (i) expressivo suprimento de material arenoso; (ii) sentido constante do transporte litorâneo; (iii) influência da topografia, por exemplo, a

presença de um ponto de apoio; (iv) pouca profundidade, uma vez que tais feições são originadas em áreas rasas. Alguns esporões podem ser ampliados pela acresção de sucessivas cristas, cujos estágios evolutivos são semelhantes à formação de cristas de praias litorâneas (Ottmann, 1967).

Os pontais arenosos crescem acompanhando a direção e o sentido do transporte sedimentar resultante e freqüentemente se constituem em simples continuações das praias fonte do sedimento. Em outras oportunidades os esporões têm sua origem na tendência da linha de costa e crescem segundo a direção predominante da incidência das ondas. A sua forma terminal pode ser a de um gancho ou recurvada e é responsabilidade da refração de ondas em torno da sua extremidade final (Evans, 1942, apud Komar, 1976) ou por sucessivos e alternados trens de onda que chegam de diferentes direções (King & McCullagh, 1971, apud Komar, 1976). Frequentemente, ganchos mais antigos são visíveis e apresentam a mesma configuração dos mais recentes (Komar, 1976).

O formato arqueado da extremidade livre do pontal pode ser explicado pela sobreposição dos trens de ondas provindos de diferentes direções ou então pela refração/difração destas em torno do pontal. Na fotografia aérea de 2003 é visível o arqueamento da extremidade do pontal, se apresentando muito semelhante ao esporão ideal proposto por Carter (1988).

Analisando as aerofotos de 2000 e 2003 observa-se a existência de cordões arenosos regressivos (Fig. 3G e 3H) que evidenciam o crescimento do pontal. Parte do material erodido pode ter sido transportado e contribuído para a formação de um banco submerso, indicando desta forma um possível prolongamento do pontal (Fig. 3C, 3D e 3E), conforme o modelo evolutivo proposto por Bird (1969) e Carter (1988). Medições sucessivas indicam que o pontal apresenta crescimento permanente da área superficial total, muito embora a presença intercalada de períodos erosivos e acrescivos.

Esta forma de crescimento pode ser relacionada a barreiras de micro maré (Leatherman, 1982) do tipo regressiva. A presença de cristas praias arqueadas (Fig. 3G e 3H) demonstram o sentido preferencial de transporte dos sedimentos litorâneos. Esses cordões regressivos (semelhantes aos depósitos marinhos intermarés – beach ridges) são característicos dos modelos evolutivos de Bird (1969) e Carter (1988).

Atualmente, o pontal, representa uma forma de acumulação livre, conforme preconizado por Zenkovich (1967), com alimentação unilateral segundo Evans (1942, apud Komar, 1976), Zenkovich (1959), Ottman (1967), Komar (1976), Bird (1969) e Carter (1988).

O crescimento de esporões é um fator importante na suavização em uma costa inicialmente irregular (Johnson, 1919 apud Komar, 1976).

Tais considerações associadas aos estudos de pontais mais interiorizados nos permitem inferir sobre a futura evolução da região em estudo considerando que o modelo proposto representa uma tendência de reorientação da linha de costa, frente às condições hidrodinâmicas impostas pela interação laguna-oceano.

Determinamos a sua evolução para um período de aproximadamente 120 anos. Tempo este estimado em função da evolução do Pontal do DEPREC, o qual levou aproximadamente 60 anos para alcançar a forma atual. Sendo assim estimamos 2 ciclos completos (fase 1 e fase 2) de evolução.

Os limites de evolução destas feições são: a mudança de orientação do Molhe Leste, o Pontal do DEPREC e o canal de navegação.

Estas mudanças não levam em conta as modificações que poderão ocorrer em função das obras de ampliação dos molhes.

6.0. CONCLUSÕES

Apesar da região onde se desenvolveu o Pontal se de micromaré, a morfologia das feições existentes nas proximidades da desembocadura lembra feições características de regiões de mesomaré, conforme preconizado por Hayes (1979).

A importância das marés meteorológicas associadas ao fluxo bi-direcional tem um papel importante na gênese destas feições e são uma tendência de reorientação da linha de costa frente as condições hidrodinâmicas.

O monitoramento durante 85 anos nos permitiram quantificar e prever tendências futuras de evolução geomorfológica do pontal.

7.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bird, E. C. F. Coasts: an introduction to systematic geomorphology. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press, 1969. 245p.
- Carter, R. W. G. (1988). Coastal Environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London: Academic Press. 617p.
- Delaney, P.J.V. (1965). Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publicação especial da Escola de Geologia, Porto Alegre, v.6, 105p.
- Godolphim, M.F. (1976). Geologia do holoceno costeiro do município de Rio Grande, RS. Porto Alegre. 146p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hayes, M. O., 1979. Barrier Island Morphology as a Function of Tidal and Wave Regime. In: Stephen P. Leatherman (Ed.), Barrier Islands. Academic Press, 325 pp.
- Komar, P. D., 1976. Beach Processes and Sedimentation. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall.
- Leatherman, S.P. (1988). Barrier Island Handbook. University of Maryland, College Park. 92p.
- Möller Jr., O.O. (1996). The summertime circulation and dynamics of Patos Lagoon. Continental Shelf Research, v.16, p.335-351.
- Motta, V. F., 1969 Relatório-Diagnóstico sobre melhoria e o aprofundamento do acesso pela barra do Rio Grande. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre.
- Ottmann, F. C., (1967). Introducción a la Geología marina y Litoral. Buenos Aires: Editorial Universidad de Buenos Aires, 287 p.
- Rosen, P.S. (1975). Origin and processes of cusped spit shorelines. In: Cronin, L.E. (ed), Estuarine Research, vol.2. Academic Press, New York, pp. 77-92.
- Silva, A.R.P. & Calliari, L.J. (2001). Evolução geomorfológica do Pontal Localizado no Extremo Sul da Lagoa dos Patos. VIII Congresso ABEQUA.
- Toldo Jr. E.E. (1994). Sedimentação, predição do padrão de ondas, e dinâmica sedimentar da antepaia e zona do surf do sistema lagunar da Lagoa dos Patos, R.S.
- Villwock, J.A. (1984). Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, southern Brazil. A synthesis. Pesquisas, v.16, p. 5-49.
- Vranjac, M. P., 2000. Influência da Implantação de um Atracadouro de Barcas nas Variações Morfo-sedimentares e na Comunidade Pesqueira do Município de São José Do Norte, Laguna dos Patos, RS. Rio Grande, Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica, FURG, 156p.
- Zenkovich, V.P. (1959). On the genesis of cusped spits along lagoon shores. Journal of Geology, 67, pp.267-277.

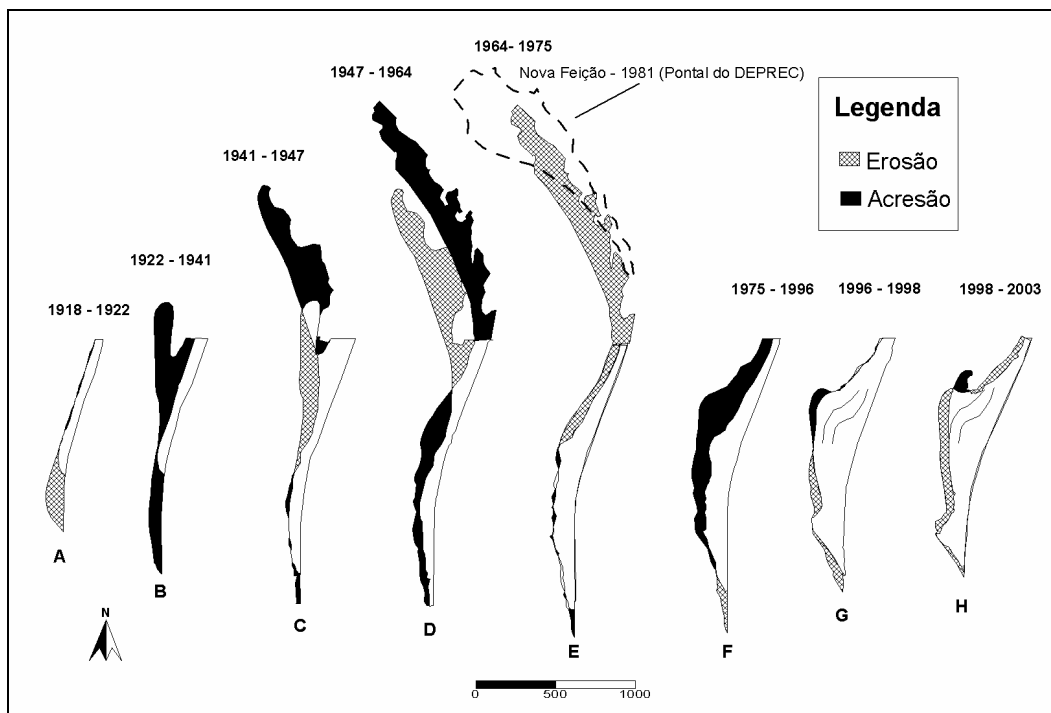


Fig. 3 - Sequência evolutiva do Pontal.

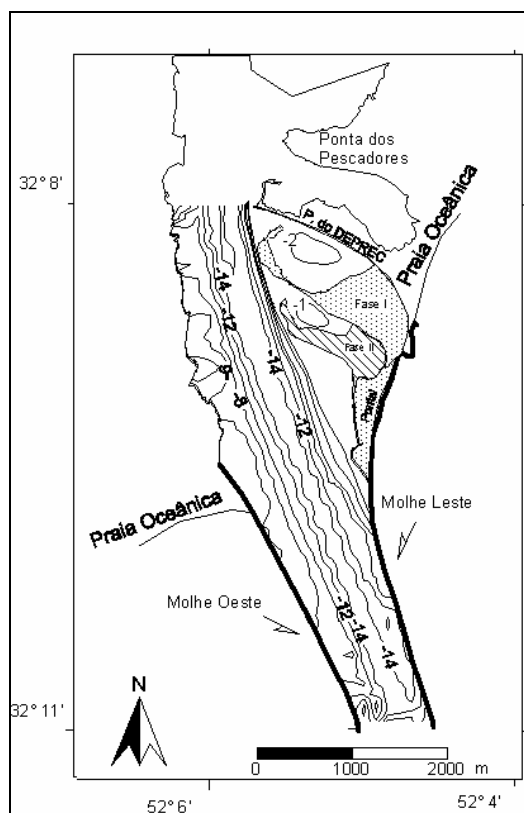


Fig. 4 – Tendências Futuras da Desembocadura da Laguna dos Patos.