

USO DE GEOTECNOLOGIAS NO GERENCIAMENTO DE RISCOS ASSOCIADOS À AÇÃO DE EVENTOS METEOROLÓGICOS DE GRANDE INTENSIDADE NO EXTREMO SUL DO BRASIL

Miguel da G. Albuquerque^{1,2,3} (migueldaguia@gmail.com); Jean Marcel de A. Espinoza¹ & Deivid C. Leal Alves⁴

¹ Departamento de Geoprocessamento, Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS, 96201-460, Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil. ² Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, 96203-900, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. ³ Pós Graduação em Gerenciamento Costeiro, FURG, 96201-900, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. ⁴ Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

As geotecnologias são caracterizadas como sendo um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de dados com referência geográfica. No contexto da gestão dos ambientes costeiros, as geotecnologias têm sido utilizadas como soluções para o manejo de riscos e tomada de decisão por parte dos gestores municipais. O presente estudo visa caracterizar a aplicação das geotecnologias no gerenciamento de riscos associados a eventos meteorológicos de grande intensidade nas praias do extremo sul do Brasil, em especial o evento ocorrido entre os dias 26 e 27 de outubro de 2016 no litoral do Rio Grande do Sul. A partir de dados obtidos por imagens de satélite e de veículo aéreo não tripulado (UAV), foi possível traçar o comportamento da linha de costa no intervalo de tempo anterior e posterior a passagem do evento meteorológico. Um comparativo entre a posição da linha de costa obtida por uma imagem Geoeye de julho de 2016 (resolução de 0,5m), e de imagens obtidas por UAV em setembro e novembro de 2016 apresentaram uma retração da linha de costa de aproximadamente 5,69 m, o que qualificou o evento como o de maior magnitude já ocorrido na região.

Palavras-chave: Gestão Costeira; UAV; Sensores Remotos; Riscos Costeiros.

INTRODUÇÃO

Tempestades extratropicais são distúrbios atmosféricos caracterizados por centros de baixa pressão e ventos intensos (USACE, 2002). Quando incidem sobre o litoral, esses eventos de alta energia impõem grandes tensões morfodinâmicas nas praias em uma curta escala de tempo, desencadeando

Use of geotechnologies in the management of risks associated with the action of high-intensity meteorological events in the extreme south of Brazil

ABSTRACT

Geotechnologies are characterized as being a set of technologies for collecting, processing, analyzing and providing data with geographic reference. In the context of the management of coastal environments, geotechnologies have been used as solutions of risk management and decision making by municipal managers. This study aims to characterize the application of geotechnologies in the management of risks associated to extratropical cyclones in the southern Brazil, especially the event occurred in October 2016. Using satellite images and data obtained by unmanned aerial vehicle (UAV), it was possible to trace the shoreline behavior at time intervals, where occurred actions of extratropical cyclones during the year of 2016. The comparison of the shoreline position data, obtained by the image of July 2016, and the UAV (obtained in September and November 2016) presented an approximated shoreline retraction balance of 5.69 m associated for the cyclone that occurred between October 26th and 27th, 2016.

Keywords: Coastal Management; Extreme Events; Remote Sensors; Coastal Erosion.

mudanças morfológicas potencialmente rápidas (KARUNARATHNA *et al.*, 2014). Uma das consequências do processo de propagação desses eventos é a ocorrência de ondas de grande amplitude e o aumento do nível de água na costa.

No que diz respeito ao litoral brasileiro, em especial ao estado do Rio Grande do Sul (RS), desde a década de 1990, alterações nos ciclos

climáticos, os quais são fator determinante dos parâmetros oceanográficos, têm sido observados de forma que essas alterações são traduzidas através do aumento da intensidade de sistemas frontais (MACHADO *et al.*, 2010; ALBUQUERQUE *et al.*, 2017). A extensão das ações desses eventos na região costeira do RS ainda é inconclusiva, de modo que ações dos gestores municipais devem ser

direcionadas para o mapeamento da frequência, do modo de ocorrência e dos impactos causados por esses eventos extremos. A partir do exposto, o presente estudo visa caracterizar o impacto dos eventos extremos de alta energia na costa do extremo sul do Brasil (Figura 1), descrevendo os impactos do ciclone ocorrido entre os dias 26 e 27 de outubro de 2016.

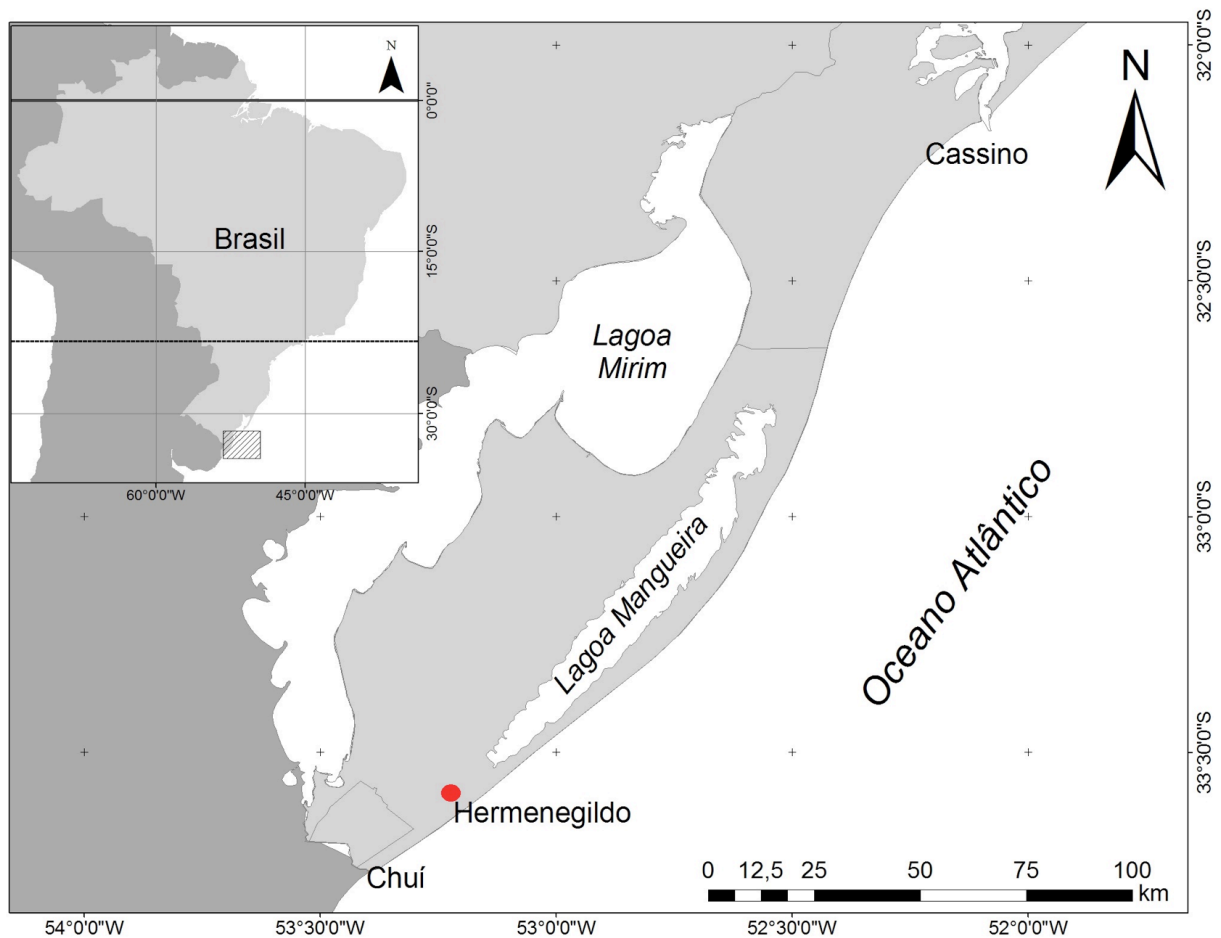


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A costa do Rio Grande do Sul é caracterizada por um regime de maré semidiurna, com altura média de 0,30m, sendo que a maré meteorológica ou ressaca pode alcançar 1,20m (CALLIARI *et al.*, 1998). Os períodos de ressaca têm sido registrados nos meses de abril e maio, e em geral são associados a passagem de frentes frias. O litoral do extremo sul

do Brasil está sobre influência do Anticiclone Tropical Semifixo do Atlântico Sul (ATAS), que é um sistema de alta pressão que atua de forma mais intensa no verão. Outro sistema atuante é o Anticiclone Polar Migratório (APM), que é um sistema estável que possui baixas temperaturas e umidade (SARAIVA *et al.*, 2003). Ele se propaga em direção às baixas latitudes, apresentando alta mobilidade e transporte de massa de ar de origem polar. Quando ocorre a chegada de sistemas frontais, estes podem causar uma mudança de até

180° na direção do vento, o que acaba gerando uma grande pista de vento (CALLIARI *et al.*, 1998). Essas mudanças combinadas aos centros de baixa pressão no oceano e centros de alta pressão no continente proporcionam o empilhamento de água na costa (fenômeno conhecido como transporte de Ekman).

O Rio Grande do Sul tem uma costa dominada por ondas com predominância de ventos do quadrante NE. Durante a passagem de frentes frias vindas de sul ou de sudeste, as ondas oceânicas são caracterizadas como de média a alta energia, com altura significativa de 1,5m e período de 7s a 9s (CALLIARI & TOLDO Jr., 2016). No extremo sul do estado está situada a praia do Hermenegildo, foco desse estudo. A localidade está situada a 16 km ao norte da barra do Chuí, e apresenta uma faixa costeira urbanizada de 2,3 Km. Em termos da morfodinâmica, a área é caracterizada no estágio intermediário com tendência a dissipativo, segundo classificação de WRIGHT & SHORT (1984).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o monitoramento dos efeitos do ciclone ocorridos nos dias 26 e 27 de outubro de 2016, na praia do Hermenegildo, foram utilizados dados do sensor *Geoeye* datado de julho de 2016 (resolução espacial de 0,5m), e de levantamentos com Aeronave Remotamente Pilotada (UAV), realizados em setembro e novembro de 2016 (resolução espacial de 0,21m) (Figura 2B). Os voos com UAV cobriram uma área de 2,5Km² com 60 % de recobrimento das imagens e altura fixa de 40m. A sobreposição utilizada, segundo GONÇALVES & HENRIQUES (2015), permite que se obtenha uma relação base-altura de 0,43, com escala do sensor de 1,86 mm. A sobreposição elevada fornece também uma inserção multiraios que pode melhorar a precisão e densidade das nuvens pontuais (HAALA *et al.*, 2013).

Os processos de triangulação, calibração da câmera e elaboração dos modelos digitais de elevação foram realizados de forma automatizada. Em campo foi utilizado um GPS-RTK (Figura 2A) para obter uma melhor precisão do posicionamento nas imagens (Figura 2C). Para o processo de

orientação das imagens coletadas, extração da nuvem de pontos e construção do modelo digital de superfície e mosaicos de ortoimagem foi utilizado o *software* Agisoft Photoscan®.

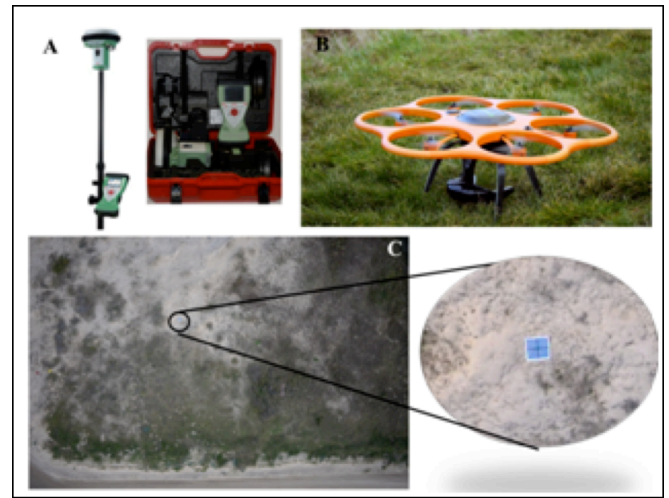


Figura 2. GPS-RTK utilizado para o posicionamento dos alvos; B- UAV utilizado na coleta de dados; C- Pontos de controle utilizados para o posicionamento em campo.

Para determinação das taxas de retração da linha de costa anterior e após a passagem do evento, respectivamente, foi utilizado o método do polígono de mudança (SMITH & CROMLEY, 2012; ALBUQUERQUE *et al.*, 2013; ANFUSO *et al.*, 2016) (Figura 3).

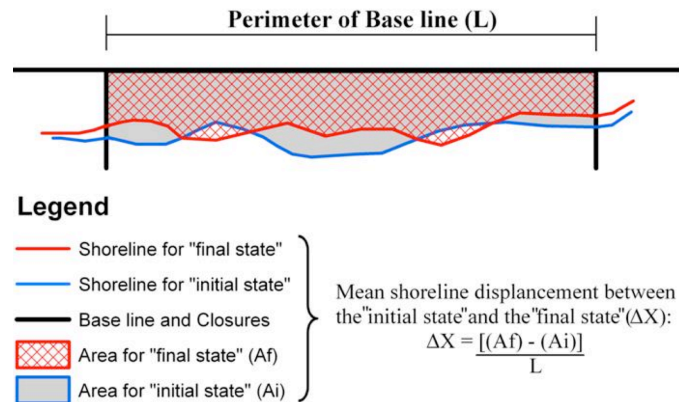


Figura 3. Método do polígono de mudança. Fonte: ALBUQUERQUE *et al.* (2018).

A metodologia consiste em extrair áreas em erosão e/ou acreção a partir de duas linhas de costa distintas e previamente vetorizadas nas imagens aéreas de interesse. A partir da criação de um polígono, o qual é composto por uma linha de costa

base (referência) e a linha da imagem vetorizada, é possível aplicar um processo de subtração entre polígonos, onde o resultado são as áreas que se encontram em erosão e/ ou acresção. Na álgebra de polígonos, cada região de variação do litoral é quantificada. Todo o processo é baseado na álgebra de áreas, onde o cálculo da retração do litoral é feito a partir da área do segmento costeiro (Δx) dividido pelo comprimento da linha de costa (L).

Os dados de vento e de pressão atmosférica foram obtidos de uma estação meteorológica situada próxima à área de estudo. Os dados de ondas foram obtidos das saídas do modelo Wave Watch III NCEP/NOOA, provenientes de uma boia situada a 80 km da costa. A altura significativa das ondas (H_s) e o período de pico (T) foram considerados para uma resolução espacial de $1,0^\circ \times 1,5^\circ$, com intervalo temporal de janeiro a dezembro. Uma descrição mais detalhada do modelo, suas equações e o método numérico utilizado podem ser encontradas

em TOLMAN (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o evento meteorológico ocorrido entre 26 e 27 de outubro de 2016, os dados obtidos pelas coletas de UAV entre setembro e novembro apresentaram uma taxa de retração da linha de costa de 5,69 m (Figura 4B). Essa taxa representou uma retração de 17741,22 m² de área sedimentar ao longo de todo o litoral. Entre os meses de julho a setembro, período anterior a passagem do ciclone, a retração costeira foi de 0,84 m. Quando comparado aos eventos catalogados no estudo de ALBUQUERQUE (2013), o qual abrangia o intervalo temporal de 1947 a 2013, o evento de 27 de outubro de 2016 foi considerado o mais destrutivo.

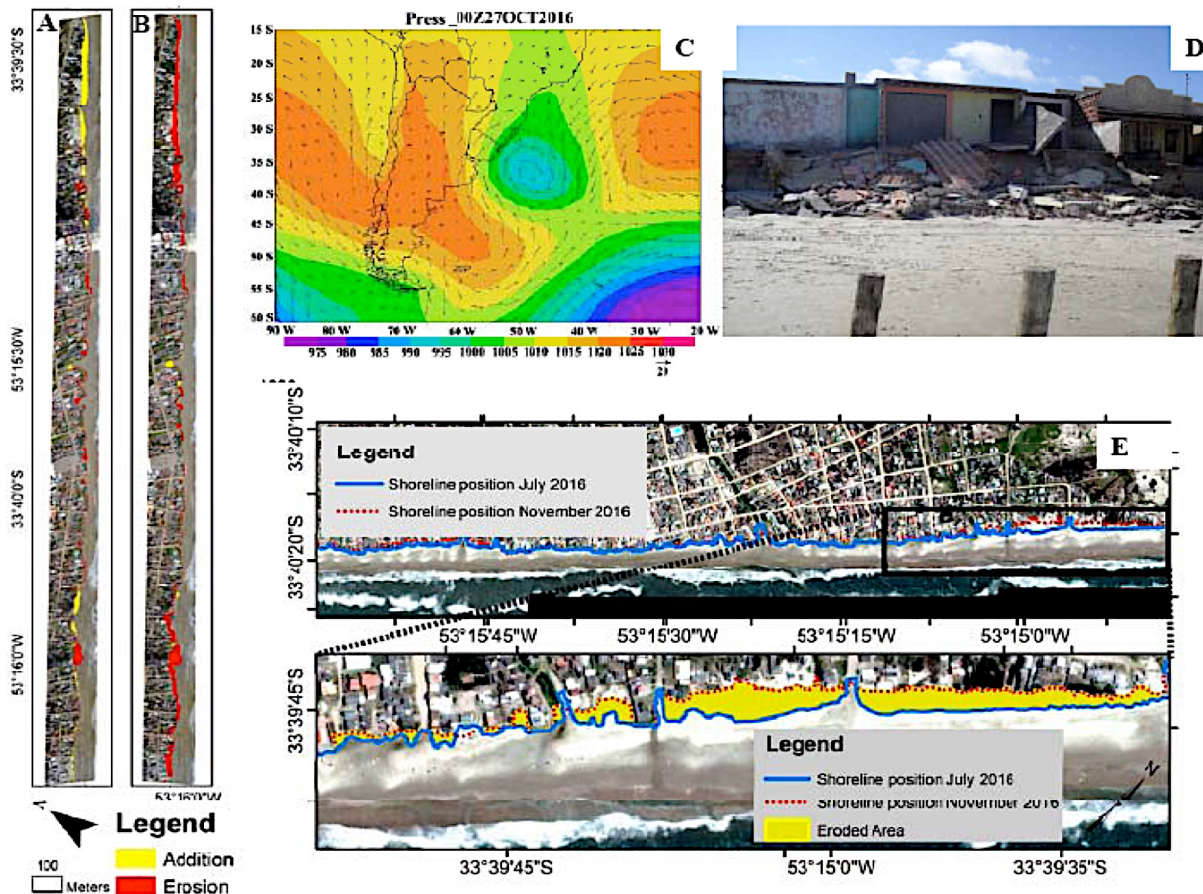


Figura 4. A- Retração da linha de costa ao longo do litoral sul entre julho e setembro de 2016; B- Retração da linha de costa ao longo do litoral sul entre setembro e novembro de 2016; C- Situação sinótica em 26 de outubro de 2016; D- Destruição de infraestruturas após a passagem do evento de alta energia; E- Caracterização da área erodida no setor norte da praia do Hermenegildo entre os meses de julho e novembro de 2016.

O ciclone apresentou ventos de até 80 Km/h na direção SW, e causou impactos físicos (erosão de praia e dunas) e impactos socioeconômicos (inundações e danos de infraestrutura) em todo o segmento costeiro da praia do Hermenegildo.

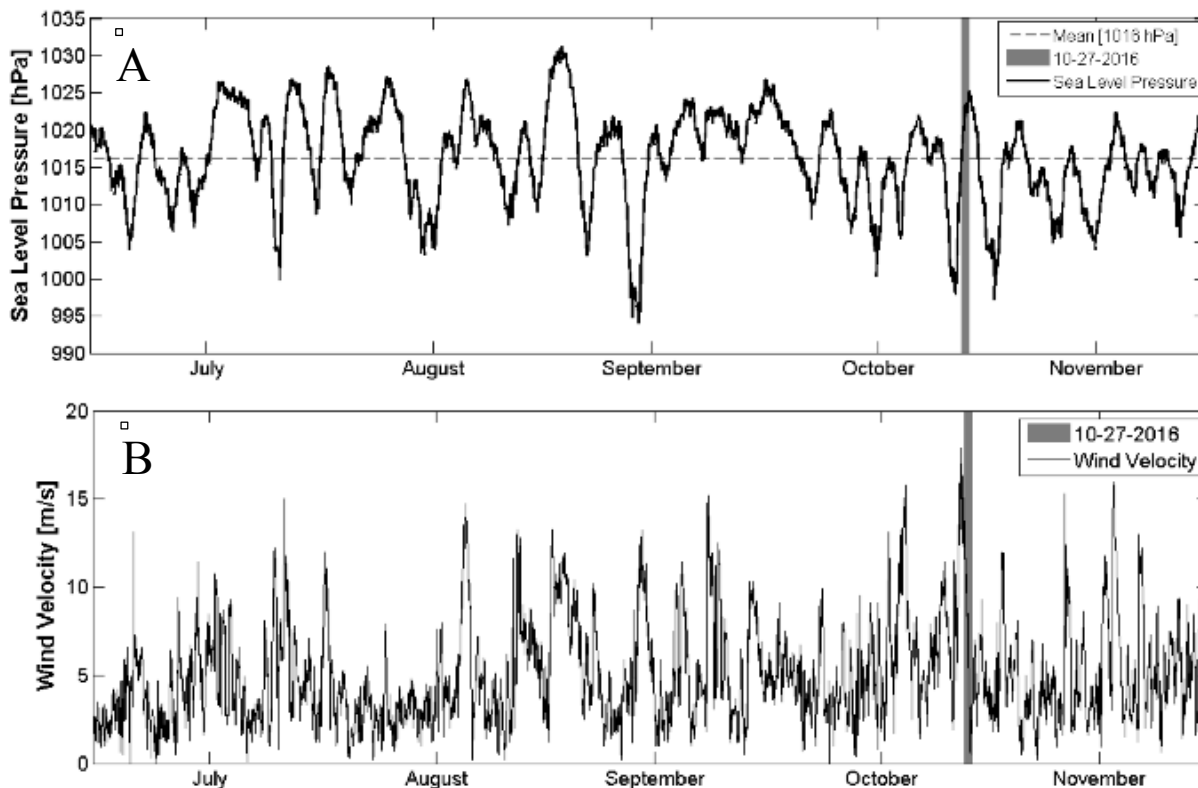


Figura 5. A- Dados de pressão ao nível do mar para o ano de 2016; B- Dados de velocidade dos ventos para o ano de 2016.

Tabela I. Padrões sinóticos capazes de gerar eventos extremos por ondas.

Situação Sinótica	Características
Padrão I	Ciclogênese na costa sul da Argentina com um deslocamento para leste e trajetória entre 47,5° e 57,5°S
Padrão II	Ciclogênese no sul da costa Uruguiaia com um deslocamento para leste e trajetória entre 28° e 43°S
Padrão III	Ciclogênese no sul da costa Uruguiaia com um deslocamento para sudoeste e trajetória entre 32° e 57,5°S
Padrão IV	Centro de alta pressão gerando um vento de leste

A porção norte da praia do Hermenegildo foi a mais atingida, com uma grande retração do campo de dunas (Figura 4E). A região sul do balneário teve cerca de 40 residências danificadas (Figura 4D). Quando comparado ao ciclone ocorrido em 1999, que segundo ESTEVES *et al.* (2003) apresentou ventos de 45 Km/h e cerca de 22 casas destruídas ao longo do litoral, o evento de 27 de outubro de 2016 se mostrou o de maior impacto destrutivo. Em ambas as situações descritas (1999 e 2016) a região apresentava uma situação sinótica com padrão tipo II (Tabela I), o qual apresenta uma ciclogênese na costa sul do Uruguai com uma trajetória de deslocamento para leste entre 28°S e 43°S (Figura 4C).

As tempestades representam uma das ameaças para os municípios costeiros, forçando os habitantes a adotar várias medidas e estratégias de proteção costeira (GONZÁLEZ-RIANCHO *et al.*, 2015). Um comparativo das taxas de retração do litoral antes e após a passagem de um ciclone com

conjuntos de dados históricos de retrogradação são importantes para investigar as causas locais e regionais da erosão costeira, auxiliando na identificação de tendências erosivas, além de possibilitar a observação de mudanças ocorridas na morfologia costeira. Para episódios de média energia, COWELL & THOM (1994) apontam que uma análise de um segmento costeiro em escalas de tempo é importante para auxiliar na avaliação da resposta da praia à ação de um único evento de alta energia.

Para o ano de 2016, as pressões mínima e máxima do nível do mar apresentaram valores entre 1004,1 hPa e 1005,4 hPa, respectivamente (Figura 5A). A média do ano para os dados de vento apresentou uma velocidade média de 3,48 m/s (Figura 5B). O teste estatístico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) revelou que para o ano de 2016, a série apresentava uma tendência linear de crescimento de 0,073 m/s. O comportamento estatístico apresentado pela série corrobora com o teste estatístico realizado por ALBUQUERQUE (2013), para uma série de dados de vento de 63 anos (1947 a 2013). Durante o mês de outubro o valor médio de pressão ao nível do mar foi de 1013 hPa e no período da passagem do ciclone, os valores de máximo e mínimo para pressão do nível do mar foram de 1010 hPa e 1000 hPa, respectivamente.

Os eventos extremos representam um dos principais elementos de alteração morfológica em curto período de feições costeiras submetidas à ação das ondas (BULHÕES *et al.*, 2014), como é o caso do litoral do extremo sul do Brasil. Somam-se às marés meteorológicas, a presença de um *hotspot* associado à convergência ortogonal de ondas (SPERANSKI & CALLIARI, 2006) e estruturas rígidas para conter a ação das tempestades.

Levantamentos de mesoescala e de alta frequência têm comprovado uma tendência erosiva na porção norte da praia do Hermenegildo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015). Para o evento ocorrido nos dias 26 e 27 de outubro de 2016, a velocidade do vento foi de 17,9 m/s com direção SW e rajadas de vento de 22,2 m/s (Figura 6A). Os dados de altura significativa da onda, extraídos do modelo Wave Watch III, apresentaram valores em

torno de 5,69 m durante a passagem do ciclone (Figura 6B).

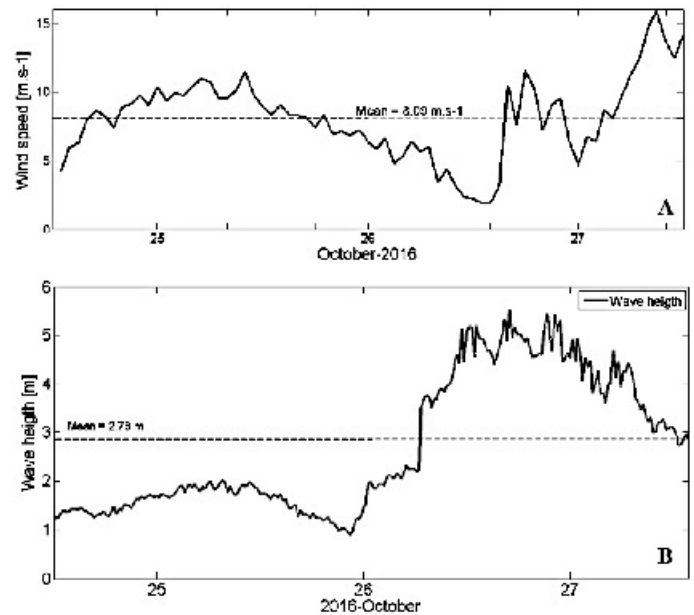


Figura 6. Dados de vento para o mês de outubro de 2016; B- Dados de altura significativa das ondas para o mês de outubro de 2016.

De acordo com MERLOTTO *et al.* (2014), as praias arenosas são caracterizadas por sua resiliência a eventos extremos, se ajustando ao perfil e em planta ao transporte sedimentar. No entanto, MALLMANN *et al.* (2014) destacam que essa adaptação está condicionada à disponibilidade de sedimentos para que os processos costeiros se desenvolvam. Para a praia do Hermenegildo, um comparativo entre as imagens obtidas entre julho e setembro de 2016 apresentou uma perda de 2237,75 m² de área. Entre setembro e novembro de 2016, intervalo onde ocorreu a passagem do ciclone, houve uma perda de 17741,22 m². Estudos realizados por ALBUQUERQUE *et al.* (2017) e ALBUQUERQUE (2013) tem demonstrado que as perdas sedimentares, em área, tem crescido desde o início da década de 1990.

CONCLUSÕES

As mudanças ocorridas na zona costeira após a passagem de eventos de alta energia apresentam uma grande variabilidade espacial e temporal. Outros fatores como condições hidrodinâmicas

locais e condições batimétricas favoráveis para uma maior convergência de ondas, contribuem para o processo erosivo e para o estabelecimento de altas taxas de recuo da linha de costa.

Os últimos grandes eventos de alta energia tem aumentado a preocupação dos moradores e gestores costeiros sobre os efeitos devastadores das ondas de tempestade, com o aumento do nível da água na costa muito além do normal. Quando feito um comparativo entre o evento ocorrido em Outubro de 2016 e os principais eventos de tempestade incidentes no extremo sul do Brasil, observou-se que grande parte apresentava ventos predominantes de SW durante a passagem do evento, o que também contribui para aumentar as taxas de retração da linha de costa.

No monitoramento de zonas costeiras, o nosso entendimento da resposta dos eventos de alta energia no processo de recuperação de uma praia ainda é limitado pela qualidade e adequação do conjunto de dados disponíveis. Nesse sentido, o uso cada vez mais frequente das geotecnologias e do UAV tem viabilizado um maior dinamismo em termos de coleta de dados para curtos espaços temporais de amostragens. Em termos de gestão costeira, os produtos gerados nesse estudo servem de subsídio para um melhor acompanhamento dos efeitos dos eventos de alta energia na costa, bem como na elaboração de futuros projetos de planejamento e expansão dos municípios litorâneos do extremo sul do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M.G. 2013. *Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS*. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil, pp. 126.
- ALBUQUERQUE, M.G.; ESPINOZA, J.; TEIXEIRA, P.; De OLIVEIRA, A.; CORRÊA, I. & CALLIARI, L. 2013. Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the change polygon methods for the determination of erosive process on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 65 (SI): 1710-1714.
- ALBUQUERQUE, M.G.; LEAL ALVES, D.; MACHADO, A.; ESPINOZA, J.; CALLIARI, L. & GANDRA T. 2015. Gestão costeira e riscos associados a tempestades: um panorama dos impactos costeiros causados pelos eventos extremos no Rio Grande do Sul, Brasil. In: PAULA, D.P. & DIAS, J.A. (Eds.), *Ressacas do Mar/ Tempestades e Gestão Costeira*. Fortaleza, Brasil: Premium, ISBN: 978-85-7924-440-7, pp. 417-444.
- ALBUQUERQUE, M.G.; CORREA, I.S. & CALLIARI, L. 2017. Interações nos ciclos climáticos do litoral sul do Brasil e suas consequências para gestão de ambientes costeiros sujeitos a erosão. In: PEREIRA, S.D.; RODRIGUES, M.A.C.; BERGAMASCHI, S.; ARAÚJO JUNIOR, H.I.; CANCELA DA FONSECA, L.; GARCIA, A.C. & ROQUE, A.C. (Eds.), *O Homem e o Litoral: Transformações da Paisagem ao Longo do Tempo*. Rio de Janeiro, Brasil: FAPERJ, ISBN: 978-85-5676-018-0, pp. 266-274.
- ALBUQUERQUE, M.G.; LEAL ALVES, D.C.; ESPINOZA, J.M.A.; OLIVEIRA, U.R. & SIMÕES, R.S. 2018. Determining shoreline response to meteo-oceanographic events using remote sensing and unmanned aerial vehicle (UAV): case study in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 85 (SI): no prelo.
- ANFUSO, G.; BOWMAN, D.; DANESE, C. & PRANZINI, E. 2016. Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolution issues. *Environment Monitoring Assessment*, 188: 568.
- BULHÕES, E.M.R.; FERNANDEZ, G.B.; OLIVEIRA FILHO, S.R.; PEREIRA, T.G. & ROCHA, T.B. 2014. Coastal impacts induced by storm waves between Cape Frio and Cape Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. *Quaternary and Environmental Geoscience*, 5(2): 155-165.
- CALLIARI, L.J. & TOLDO Jr., E.E. 2016. Ocean beaches of Rio Grande do Sul. In: SHORT, A.D. & KLEIN, A.H.F. (Eds.), *Brazilian*



- Beach Systems*. Springer, Boca Raton, Florida, USA. ISBN: 978-3-319-30392-5. p. 507-541,
- CALLIARI, L.J.; TOZZI, H. & KLEIN, A.H.F. 1998. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil – Rio Grande to Chuí, RS. *An. Acad. Bras Cienc*, **70**(1): 231-247.
- CALLIARI, L.J.; SPERANKSKI, N. & BOUKAREVA, I. 1998. Stable focus wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. *Journal of Coastal Research*, **26**(2): 19-23.
- COWELL, P.J. & THOM, B.G. 1994. Morphodynamics of coastal evolution. In: CARTER, R.W.G. & WOODROFFE, C.D. (Eds.), *Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ESTEVEZ, L.S.; SILVA, A.P.; AREJANO, T.B.; PIVEL, M.A.G. & VRANJAC, M.P. 2003. Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, **35**(SI): 548-556.
- GONÇALVES, J.A. & HENRIQUES, R. 2015. UAV photogrammetric for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104: 101-111.
- GONZÁLEZ-RIANCHO, P.; GERKENSMEIER, B.; RATTER, B.M.W.; GONZÁLEZ, M. & MEDINA, R. 2015. Storm surge risk perception and resilience: a pilot study in the German north sea coast. *Ocean and Coastal management*, 112: 44-60.
- HAALA, N.; CRAMER, N. & ROTHERMEL, M. 2013. Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **40** (1W2): 183-188.
- KARUNARATHNA, H.; PENDER, D.; RANASINGHE, R.; SHORT, A.D. & REEVE, D. E. 2014. The effects of storm clustering on beach profile variability. *Marine Geology*, 348: 103-112.
- KENDALL, M.G. 1975. *Rank correlation methods*. London: Charles Griffin.
- MACHADO, A.A.; CALLIARI, L.J.; MELO, E. & KLEIN, A.H.F. 2010. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in Southern Brazil and their relation to erosion episodes. *Pan-american Journal of Aquatic Sciences*, **5**(2): 105-114.
- MALLMANN, D.L.B.; ARAUJO, T.C.M. & DROGUETT, E.L. 2014. Characterization of central coast of Pernambuco state (Brazil) regarding to short and medium-term erosion. *Quaternary and Environmental Geosciences*, **5**(2): 137-154.
- MANN, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- MERLOTTO, A.; BERTOLA, G.R.; ISLA, F.I.; CORTIZO, L.C. & PICCOLO, M.C. 2014. Short and medium-term coastal evolution of Necochea municipally, Buenos Aires province, Argentina. *Environmental Earth Science*, 71: 1213-1225.
- SARAIVA, J.M.B.; BEDRAN, C. & CARNEIRO, C. 2003. Monitoring of storm surges on Cassino beach, RS, Brazil. *Journal of Coastal Research*, **35**(SI): 323-331.
- SMITH, M.J. & CROMLEY, R.G. 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions on GIS*, 16: 3-15.
- SPERANSKI, N. & CALLIARI, L.J. 2006. Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In: Muehe, D. (Ed.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Governo Federal. p. 446-454.
- TOLMAN, H.L. 2002. Use manual and system documentation of Wave Watch III. Washington, version 2.22, 133 pp.
- USACE, 2002. Water levels and long waves. In: USACE - US Army Corps of Engineers (Ed.), *Coastal Engineering Manual*, Part II, Vicksburg, Mississippi, EM 1110-2-1100, 76 pp.
- WRIGTH, L.D. & SHORT, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.