Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Histórico de antropização e supressão das dunas no balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil

Ulisses Rocha de Oliveira¹, Karl Franz Koerner², Rodrigo Silva Simões³, Gabriel Santos da Mota⁴, Karine Bastos Leal⁵, Bruna Cavalcanti Gautério⁶

¹Doutor em Geografia. Professor Associado I, Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal de Rio Grande, Avenida Itália, km 8, Bairro Carreiros, CEP 96203-900, Rio Grande, Rio Grande do Sul. ulissesoliveira@furg.br (autor correspondente). ²Mestre em Gerenciamento Costeiro. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, Brasília, DF. karlkoerner@gmail.com. ³Mestre em Geografia. Instituto de Ciências Humanas e da Informação - Universidade Federal do Rio Grande. rodrigossimoes@furg.br. ⁴Mestre em Geografia. Instituto de Ciências Humanas e da Informação - Universidade Federal do Rio Grande. motags@gmail.com. ⁵Graduação em Geografia Bacharelado. Instituto de Ciências Humanas e da Informação - Universidade Federal do Rio Grande. karinebleal@gmail.com. ⁶Graduanda em Geografia Bacharelado. Instituto de Ciências Humanas e da Informação - Universidade Federal do Rio Grande. gauteriobruna@gmail.com.

Artigo recebido em 21/12/2017 e aceito em 16/06/2018

RESUMO

Diversas alterações ambientais têm sido observadas no Planeta, produto de mudanças climáticas globais, crescimento demográfico, rápidas alterações no uso da terra e demais processos inter-relacionados, sendo uma das mais marcantes as alterações impostas às dunas costeiras. Este trabalho visa realizar um histórico de antropização e sua influência na supressão dunar no balneário Hermenegildo, situado no extremo sul do Brasil. Para isto foram realizadas entrevistas com historiadores e moradores antigos do local; analisadas fotografias aéreas de 1947 e 1964, fotografias convencionais da área urbana e orla até o início dos anos 2000, imagens orbitais disponíveis no *software Google Earth PRO®* de 2005 e 2016, mosaicos da orla obtidos a partir da face da praia uma vez ao ano entre 2009 e 2016 e dois mosaicos de fotografias aéreas verticais e oblíquas *in loco* utilizando um drone em 2016. Os primeiros assentamentos ocorreram há mais de um século, período em que as dunas livres prevaleciam no local. Por volta da década de 1960 espécies exóticas começaram a ser plantadas com objetivo de diminuir o transporte eólico de sedimentos e possibilitar a urbanização, tornando o antigo campo de dunas móveis em dunas fixas e vegetadas. As dunas frontais, as últimas dunas remanescentes na área urbana, estão sendo suprimidas entre a praia e as edificações/contenções em função do processo de erosão costeira. O histórico do local remete a mudanças ambientais locais com estabilização do solo, substituindo-se dunas móveis por vegetação exótica, urbanização, aterros e estruturas de contenção a erosão costeira.

Palavras-chave: Mudanças ambientais, ações humanas, erosão costeira.

History of anthropization and dune suppression in Hermenegildo coastal settlement, Rio Grande do Sul, Brazil

ABSTRACT

Several environmental changes have been observed on the planet, a product of global climate change, demographic growth, rapid changes in land use and other inter-related processes, one of the most striking of the changes imposed on the coastal dunes. This study aims at describing a brief history of anthropization process and its influence on dune suppression in Hermenegildo, a coastal settlement located in the extreme south of Brazil. Besides, the following were analyzed: aerial photographs taken from 1947 to 1964; conventional photographs of the urban area and the seashore up to the 2000's; orbital images available at the *software Google Earth PRO®* from 2005 and 2016; annual mosaics of the seashore got from the beach face, from 2009 to 2016; and two mosaics of vertical and oblique aerial photographs taken *in loco* by a drone in 2016. The first settlements took place more than a century ago, in a period in which mobile dunes prevailed in that area. Around the 1960's, exotic species started to be planted so as to decrease eolian sediment transport and enable urbanization, making the former field of mobile dunes into fixed and vegetated dunes. Frontal dunes, the last to remain in the urban area, have been suppressed between the beach and the buildings/retaining walls as the result of the coastal erosion process. The history of the place refers to local environmental changes with soil stabilization, since mobile dunes were replaced by exotic vegetation, urbanization, levees and retaining walls in order to mitigate coastal erosion.

Keywords: Environmental changes, human activity, coastal erosion.

Introdução

Diversas alterações ambientais têm sido observadas no Planeta, produto de mudanças climáticas globais, crescimento demográfico, rápidas alterações no uso da terra e demais processos inter-relacionados. Essas transformações são comumente encontradas na zona costeira, marcada por abrigar boa parte da população mundial, com presença de grandes cidades e portos, além do uso turístico significativo. A zona costeira do extremo sul do Brasil é caracterizada por certa homogeneidade na linha de costa, apresentando praias arenosas oceânicas e dunas na retaguarda. Também abarca diversos sítios urbanos de uso sazonal e redes de drenagem, predominando canais sangradouros e desembocaduras lagunares. O crescimento das formas de uso humano vem interagindo com a dinâmica morfológica da região. Uma das maiores alterações na paisagem costeira na costa do extremo sul do Brasil nos últimos anos tem sido a estabilização e a supressão das dunas costeiras.

Dunas costeiras são feições geomorfológicas desenvolvidas em praias arenosas, onde ocorre aporte abundante de sedimentos a partir da praia, como resultado do transporte eólico de sedimentos em direção à costa (Carter, 1988). Segundo Hesp (1999) há uma variedade de dunas costeiras, sendo estas formadas e influenciadas pela existência ou ausência de vegetação. Dunas frontais são cordões paralelos à costa, convexos, simétricos ou assimétricos, situadas na retaguarda da linha de maré alta na porção superior do pós-praia, formados por deposição eólica na presença de vegetação (Hesp, 2002). Já campos de dunas móveis ou transgressivos são mais amplos e ocorrem onde sedimentos eólicos avançam sobre áreas costeiras.

Há alguns séculos, as dunas móveis são consideradas ameaças a povoações costeiras e solos agrícolas em função de seu deslocamento sobre as edificações e plantações. Esta mobilidade das dunas motiva, muitas vezes, a sua remoção ou estabilização por parte dessas povoações costeiras. Existem diversas formas de estabilizar as dunas, resultante de muitas experiências ao longo da história.

Como principal forma de estabilização e bastante efetiva, podemos destacar o uso de vegetação, que implica na utilização de distintas espécies capazes de suportar e se desenvolver no ambiente e clima presentes no sistema dunar, com o spray salino. Já em 1786, o engenheiro Bremontier realizou um trabalho desta natureza na França, cujo objetivo era plantar sementes de ervas daninhas mescladas com sementes de *Pinus*

Pinaster (Pinheiros marítimos) para barrar o movimento dos sedimentos eólicos (Albert, 1900 *apud* Maureira, 2016). Em outros locais, como no Uruguai (Delfino e Masciadri, 2005) e Chile (Maureira, 2016) também foram introduzidas espécies exóticas para estabilização das dunas costeiras ao longo do século XX.

Outra forma de estabilização das dunas móveis é a estabilização mecânica, que implica na criação de obstáculos que impeçam o avanço das dunas (Maureira, 2016), como muros de concreto, cercas de madeira e rochas dispostas diretamente na superfície, por exemplo. A estabilização mecânica é um método usado em muitos casos para complementar a ação da cobertura vegetal. Os métodos mais antigos desta forma de estabilização foram por meio da utilização de ramas das árvores usadas para retenção eólica, enquanto que árvores de maior porte são muito usadas em solos consolidados, de modo que podem se desenvolver plenamente e agir como uma barreira física para que a duna não avance para solos interiores (Maureira, 2016).

Tendo em vista a presente ocupação do balneário Hermenegildo em um ambiente anteriormente dominado por dunas móveis, o presente trabalho tem como objetivo analisar, através de um registro histórico e análise de imagens aéreas, como o processo de antropização, decorrente da criação e expansão do Balneário Hermenegildo, estabilizou e suprimiu o campo de dunas no local. Busca-se também verificar o quanto as ações humanas, realizadas muitas vezes sem planejamento adequado, podem alterar os sistemas naturais e gerar potenciais danos ambientais.

A área de estudo (Figura 1) localiza-se no extremo sul do Brasil, município de Santa Vitória do Palmar, a cerca de 20 km do centro da cidade e a 10 km do limite administrativo meridional do Brasil, os molhes da Barra do Arroio Chuí, fronteira com o Uruguai. Do ponto de vista físico-natural, situa-se a cerca de 40 km ao norte do limite físico sul da Bacia Sedimentar de Pelotas (La Coronilla no Uruguai), e no segmento sul de um sistema barreira laguna holocênico (sistema Lagoa Mangueira).

Material e métodos

Registros históricos

Parte do conhecimento da história ambiental do balneário Hermenegildo foi obtido através de revisão bibliográfica e entrevistas com o Professor Homero Vasques Rodrigues, historiador e geógrafo vitoriense sempre interessado nos

assuntos referentes ao local, e com Luiz Rota de Oliveira, funcionário público aposentado, autodidata e morador do balneário há algumas décadas. Estas entrevistas foram realizadas no formato pesquisa aberta, onde um diálogo foi desenvolvido no intento de buscar informações relevantes para este trabalho. Estas informações obtidas nas entrevistas serviram para caracterizar qualitativamente situações onde os dados eram

escassos ou ausentes, sobretudo o início de ocupação e as primeiras intervenções humanas, bem como sobre os processos de erosão costeira nos primórdios da ocupação no local, permitindo também corroborar na interpretação dos demais dados analisados.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Koerner et al. (2013).

Caracterização da estabilização e supressão dunar com imagens aéreas

Para caracterizar a estabilização e a supressão das dunas pela vegetação também foram analisadas imagens aéreas. As primeiras imagens analisadas foram fotografias aéreas de 1947 e 1964, realizadas pelo Exército Brasileiro e cedidas pela Agência da Lagoa Mirim (ALM-UFPEL), sendo digitalizadas na própria Agência em uma resolução de 300dpi (.tiff). Nestas fotografias foram identificadas as seguintes feições: o perímetro

urbanizado, a estrada principal de acesso, a área do sistema lagunar IV (Lagoa Mangueira e banhados remanescentes), a Barreira IV (campos de dunas e áreas vegetadas), os sangradouros principais e a linha de costa. Estas retratam o período inicial de crescimento urbano e o início da estabilização das dunas no local. Uma imagem orbital Quickbird® pancromática de alta resolução (0,6m) de 19/7/2005 adquirida na base do *Google Earth PRO®*, foi utilizada para conexão com as fotografias mais antigas, visando identificar a estabilização e supressão das dunas transgressivas

observadas *in loco*. Esta análise foi de caráter qualitativo, isto é, não gerou valores percentuais, visando principalmente identificar o processo.

Para analisar a urbanização e supressão das dunas frontais na área urbana do balneário, foi realizada uma comparação entre a imagem orbital Quickbird® de 19/7/2005 e uma GeoEye® de 30/10/2016. O processamento destas imagens ocorreu nos *softwares* QGIS® e ArcGIS®, a partir do georreferenciamento, vetorizações e extração dos valores de variação. Esta análise foi complementada com mais dois mosaicos de fotografias aéreas da porção norte do balneário obtidas de forma remota com auxílio de uma Aeronave Remotamente Pilotada, um drone DJI® modelo Phantom 3 Professional, em 27/9/2016 e 19/11/2016. As fotografias aéreas de drone foram processadas no *software* Agisoft Photoscan® e geraram mosaicos ortoretificados com um RMS (*Root Mean Square error*) inferior a 1 pixel (0,08m). Estes possibilitaram identificar a área de dunas através da vetorização, realizada no programa QGIS® na escala 1:500, identificando sua variação no período.

Monitoramento da escarpa da duna frontal

Mosaicos de fotografias obtidas a partir da face da praia entre 2009 e 2016 foram utilizados para caracterizar a erosão e a urbanização das dunas frontais, com substituição ou criação de obstáculos ao movimento das mesmas por edificações e estruturas de contenção, focalizando o processo a partir da face da praia, de onde provém grande parte dos sedimentos eólicos dessas dunas frontais. Estes foram realizados em trabalhos de campo nos dias 28/8/2009, 22/11/2010, 5/12/2011, 25/1/2013, 22/12/2013, 29/12/2014, 5/2/2016, 27/9/2016 e 19/11/2016, sendo os dois últimos mosaicos realizados nos mesmos dias das imagens obtidas pelo drone. Em cada uma destas datas, a orla do balneário foi registrada através de fotografias a cada 30 metros aproximadamente, em cena capturada a partir da face da praia em direção ao balneário. As fotografias foram obtidas de modo que se possibilitasse a sobreposição das cenas, assegurando que não houvesse perda de trechos e se prezasse por manter um ângulo frontal padrão para a análise das estruturas. Estas fotos foram transformadas em mosaicos fotográficos, onde priorizou-se a escarpa dunar e as estruturas de contenção em relação à morfologia da praia e edificações na retaguarda. Isto possibilitou mapear trechos de orla somente com depósitos eólicos defrontantes ao mar, trechos de orla onde os

depósitos eólicos dividem espaço com estruturas de contenção e trechos de orla sem depósitos eólicos, marcados por estruturas de contenção.

Resultados e discussão

Breve histórico de urbanização e a estabilização dos campos de dunas móveis

Segundo os historiadores entrevistados, a ocupação do balneário do Hermenegildo se iniciou por volta de 1890 na primeira passagem terrestre ao sul da Lagoa Mangueira, por meio dos campos de dunas móveis ou transgressivas. As ocupações iniciaram junto aos canais sangradouros, no reverso das dunas frontais, na forma de acampamentos temporários. Estes passaram a ser substituídos por construções simples de madeira. A maior parte destas casas foi construída em zonas baixas e alagadiças a beira de um canal sangradouro.

Originalmente o trecho dunar era bem desenvolvido, com dunas móveis ou transgressivas ocupando boa parte da barreira holocênica, chamada Barreira IV. Naturalmente ocorrem *blowouts*, fruto da ação eólica, e cortes nas dunas por pequenas redes de drenagem, áreas que serviram para os primeiros assentamentos. A foto aérea de 1947 nos mostra como as dunas móveis ou transgressivas, muitas com forma barcana ou barcanóide, se apresentavam no período inicial de ocupação com pouca cobertura vegetal, exceto na nascente de alguns canais sangradouros e na retrobarreira (Figura 2a) onde situa-se a barreira pleistocênica (Barreira III). Essa grande mobilidade sedimentar pode ter tido influência de um período seco ocorrido entre 1943 e meados de 1946 (Ugri, 2004). Segundo dados do *Multivariate ENSO Index* (MEI), obtidos no sítio eletrônico da NOAA, nestes anos ocorreram muitos eventos *La Niña* na região, o que pode favorecer a estiagem e o transporte eólico. Nos primórdios da ocupação no local, a estrada de acesso era indefinida e sobre o campo de dunas, sendo alterada a cada verão, conforme a migração das dunas.

Por volta de 1950, casas foram construídas diretamente no pós-praia, faixa de areia com quase nenhum desenvolvimento vegetal, sendo estas edificações destruídas pelas “ressacas” do mar. Segundo Homero Vasques Rodrigues, historiador local, estas casas construídas próximas da linha de costa foram acrescidas de estruturas de madeira ou vegetação para conter a erosão, já descritas desde a metade do século XX. Mesmo assim, em maio de 1958 praticamente todas as casas defrontantes ao

mar foram destruídas por um evento de alta energia de onda, sendo posteriormente reconstruídas mais afastadas do pós-praia, onde já ocorriam outras edificações nas adjacências dos sangradouros.

Segundo Homero Vasques Rodrigues, em 1962 foi construída a estrada de acesso ao balneário (RS-833), sobre o banhado (terraço lagunar IV onde hoje situa-se uma ponte de acesso ao balneário) e as dunas móveis (barreira IV hoje vegetada no trecho). Já durante a sua construção, as dunas começaram a migrar sobre a estrada. Assim, um engenheiro agrônomo foi contratado para o desenvolvimento de um projeto de plantio no local afetado, sugerindo o plantio de mudas de Acácia (*Trichilogaster acaciaelongifoliae*), como já havia sido feito em Alvorada em 1958 (local ao sul do balneário, próximo a Barra do Chuí) e também no litoral norte do Rio Grande do Sul. Este plantio

junto à estrada foi realizado por volta de 1963 e 1964. Nos anos de 1966 a 1968 houve a construção de um viveiro de mudas próximo a estrada de acesso ao balneário, afastado da costa (sobre a barreira III). A partir disso foi feito um mutirão para plantio de mudas de Acácia, tanto para a contenção das dunas junto a estrada, quanto na área do próprio balneário, visto que este era urbanizado apenas nas áreas de “campestres” geralmente situados próximos aos sangradouros, os quais retêm, em parte, a mobilidade dos depósitos eólicos. Somado a isto, em 1963, foi realizado o primeiro aterramento de uma rua, chamada Marinheiros ao Largo, aterrando desde a beira mar até o Clube Recreio dos Veranistas (Hoje Praça Nelson Vasques).

Figura 2. Fotografias aéreas do Balneário do Hermenegildo de 1947 (a) e de 1964 (b) (cedidas pela Agência Lagoa Mirim, UFPEL) processadas. B-III, TL-IV e B-IV são as Barreiras III, Terraço Lagunar IV e Barreira IV respectivamente, segundo a classificação sugerida por Villwock e Tomazelli (1995). (Fonte: Modificado de Koerner, 2009).

Posteriormente, em 1964, sob o comando da Sociedade Amigos da Praia do Hermenegildo (SAPH) equivalente do período, foi realizado o aterramento de outras ruas do balneário. Com a análise da fotografia aérea de 1964 (Figura 2b) percebe-se que entre 1947 e 1964, ocorreu um crescimento do número de construções no balneário, sendo mantida a ocupação paralela à costa. Neste período já havia sido construída a estrada de acesso ao balneário e iniciado o plantio de mudas de acácia com o objetivo de auxiliar na fixação das dunas.

Comparando de forma qualitativa as imagens de 1947 e 1964, observa-se na figura 2b, algumas manchas de estabilização das dunas, sobretudo nas nascentes dos canais sangradouros, que não eram identificadas em 1947. Outro aspecto importante de ser notado, decorridos estes 17 anos, é a redução do aporte sedimentar sobre os depósitos do terraço lagunar da Lagoa Mangueira, chamado de terraço lagunar IV (TL-IV), relacionado a classificação do sistema barreira laguna do Rio Grande do Sul (Villwock e Tomazelli, 1995). Estes fatos parecem refletir uma diminuição do aporte sedimentar eólico, provavelmente pelo aumento da

precipitação, já que o plantio de vegetação exótica ainda era incipiente. Já a linha de dunas frontais, aparentemente aproximou-se das edificações, sendo que algumas delas parecem já estar vulneráveis à ação do processo de erosão costeira, embora a baixa resolução das imagens não permita maiores conclusões sobre isso. Neste período o sangradouro central já havia sido aterrado para dar lugar à principal via de acesso ao balneário, onde atualmente encontra-se a RS-833, cujo segmento ao adentrar no balneário chama-se Alameda das Acácias, a qual chega junto a praia na altura da Estátua de Iemanjá, centro do balneário atualmente. A grande mudança na paisagem dunar, com a sua progressiva fixação, fruto do plantio de árvores, se iniciou nesse período, sendo intensificada no início da década de 1970 com a compra de maquinário por parte da prefeitura municipal para execução de tal tarefa.

As dunas nesse período eram “cercadas” com vegetação e suprimidas, com a justificativa de

estabilização do solo. Após a estabilização das dunas eram abertas ruas e implementados aterros. Foram inseridos diversos depósitos tecnogênicos, até de cascalho biodetrítico (conchas da praia), no processo de aterramento das vias. Diversos aterros foram realizados ao longo de décadas sem análise ou fiscalização ambiental adequada. Estes mecanismos propiciaram um crescimento urbano na área, que seguiu paralelo a linha de costa. A imagem orbital de 2005 (Figura 3), com um intervalo maior de tempo de análise (41 anos), mostra que as dunas costeiras móveis foram, entre 1964 e 2005, vegetadas em sua grande parte nas áreas do entorno do balneário, seja com plantações exóticas de Acácia e outras espécies exóticas, ou mesmo com vegetação costeira natural das dunas, pois houve também mudanças no padrão de precipitação na região (Ugri, 2004). Nota-se também uma importante expansão do perímetro urbano.

Figura 3. Imagem de satélite Quickbird® do Balneário do Hermenegildo de 19/07/2005 (cedida pela Prefeitura Municipal de Santa Vitória do Palmar) processada. B-III, TL-IV e B-IV são as Barreiras III, Terraço Lagunar IV e Barreira IV respectivamente, segundo a classificação sugerida por Villwock e Tomazelli (1995). (Fonte: Koerner, 2009).

Ugri (2004) fez uma análise das mudanças nas dunas costeiras utilizando fotos aéreas do litoral sul do Rio Grande do Sul (Rio Grande e Santa Vitória do Palmar) dos anos de 1947, 1966 e 1996. O autor percebeu que realmente ocorreu um aumento da área com vegetação costeira em toda a extensão da área de estudo, isto é, em todo o extremo sul da costa gaúcha. Isto pode estar relacionado tanto as mudanças climáticas globais quanto as ações antrópicas locais. No período da imagem de 1966 e nos anos anteriores a mesma, o Multivariate ENSO Index (MEI) (www.esrl.noaa.gov) aponta um forte período de *La Niña*, fato que pode ter influenciado em baixos índices pluviométricos no local, facilitando o transporte eólico. Já entre 1966 e 1996 o mesmo índice aponta o aumento de períodos de *El Niño*. Por sua vez, Barros e Doyle (1996) mostraram um aumento na precipitação no litoral sul brasileiro entre 1951 e 1996. Ugri (2004) demonstrou que, se por um lado houve certa estabilização do campo dunar, ocasionada por questões climáticas (aumento da precipitação), os maiores valores de estabilização foram decorrentes do plantio direto de espécies exóticas, sobretudo *Pinnus Sp.* para fins industriais, mais ao norte da área analisada no presente trabalho.

No caso da porção junto ao balneário do Hermenegildo, o fator de maior estabilização foi gerado pelo ser humano através do plantio de vegetação arbórea exótica de pequeno porte, sobretudo a Acácia, tendo como objetivo a estabilização e a supressão dunar, possibilitando o acesso e a urbanização do balneário. Ao norte da área de estudo, outros bosques de vegetação exótica também foram plantados nos anos de 1960-1970, deixando maiores traços de estabilização ou retenção de dunas do que nos locais onde não ocorrem. A cerca de 5 km ao norte da área de estudo, por exemplo, onde não houve plantio de bosques, os campos de dunas móveis ainda são presentes na paisagem. Isto também ocorre a cerca de 5 km ao sul da área de estudo, num segmento relativamente preservado, onde são encontrados campos dunares como a 5 km ao norte, mesmo que não da mesma magnitude dos depósitos nos anos 1940 e 1960, mas que diferem da mancha vegetada junto ao balneário onde as atividades humanas foram mais impactantes.

Grabski et al. (2015) desenvolveram um trabalho estatístico em relação às mudanças no uso da terra na costa oceânica de Santa Vitória do Palmar, entre Hermenegildo e Barra do Chuí. No balneário Hermenegildo analisando fotografias aéreas, em escala 1:50.000 (1964, 1966 e 1996) e

uma imagem orbital (2010), estes autores identificaram, a partir de um polígono de análise, a diminuição da área dunar de 43,74% (1964) para 18,50% (1996) e 7,70% (2010), corroborando com os resultados deste trabalho. Neste documento, também foi identificada uma expansão da área urbanizada de 66,4% entre 1964 e 2010 de forma radial. Já Alves (2013) identificou crescimento de 25% da urbanização do balneário Hermenegildo somente entre 2000 e 2010. Estes fatos corroboram na constatação de que a supressão das dunas transgressivas no balneário parece ter uma relação diretamente proporcional a expansão urbana e com a consolidação de áreas vegetadas, que se mantém até os dias atuais.

Estes processos descritos acima caracterizam a estabilização dunar pela vegetação e urbanização, fatos que também tiveram influência de condições climáticas favoráveis. O processo de urbanização, o plantio de espécies exóticas e as mudanças climáticas, de forma conjunta, ocasionaram a estabilização do campo de dunas transgressivas original do local. Restam no local dunas móveis nas áreas a noroeste da área urbana atual, as quais não tendem a migrar sobre o balneário, por isso não há preocupação da comunidade com estas dunas, e as dunas frontais, as quais tem aporte proveniente principalmente da praia e servem de anteparo à ação marinha no local, que serão analisadas a seguir.

Erosão costeira, urbanização e a supressão das dunas frontais

O balneário do Hermenegildo é conhecido pela ocorrência de processos erosivos ali atuando há décadas. Diversos trabalhos foram realizados na área com o objetivo de analisar a erosão no local sob a ótica socioeconômica, geológica, meteorológica e oceanográfica.

Segundo Dillemburg et al. (2005) este trecho de barreira holocênica, o qual isolou a Lagoa Mangueira, vem tendo comportamento retrogradante. Lima (2008) realizou uma análise estratigráfica na área do balneário do Hermenegildo e averiguou que a linha de costa e as dunas costeiras do local estão em uma fase de retrogradação há mais de 1000 anos. Na face da praia e no pós-praia afloram atualmente depósitos de turfa e lamas lagunares junto a área do balneário. Além disso, existem fatores morfodinâmicos e meteorológicos atuais que também promovem a erosão na praia do Hermenegildo.

O sistema praial atual apresenta baixa declividade na face praial e presença de areias

finas. É caracterizado por apresentar em geral bancos e cavas longitudinais, atestado da alta deriva litorânea no local. Em geral, no outono e inverno a deriva tende para nordeste e na primavera e no verão tende para sudoeste conforme a ação de ondas e vagas de SSE e ENE respectivamente (Calliari e Klein, 1993). A praia está sujeita a alta energia de onda, que ocorre, sobretudo, após a passagem de frentes frias e/ou ciclones extratropicais. Segundo Tozzi (1999) observam-se perfis de praia côncavos após as tempestades de outono e inverno e perfis convexos durante os longos períodos de menor regime hidrodinâmico (primavera e verão). No entanto, o volume praias/sedimentar subaéreo varia muito em curtos episódios, o que representa uma moderada e por vezes alta, susceptibilidade a erosão.

Estudos hidrodinâmicos vêm sendo desenvolvidos por diferentes autores com o objetivo de caracterizar a erosão dentre os quais Esteves et al. (2003); Maia (2011); Albuquerque (2013) e Machado (2014). Estes estudos demonstram que, na região do balneário Hermenegildo, os processos naturais assumem grande importância, uma vez que podem alterar bruscamente a linha de costa em um pequeno período de tempo. Segundo Maia (2011), durante a ocorrência das tempestades, as elevações do nível do mar apresentaram como principal forçante o vento, secundariamente a ondulação, seguido da maré astronômica e finalmente a pressão. Machado

(2014), embora não tenha encontrado valores significativos no aumento do número de eventos extremos de alta energia de onda ao ano entre 1978 e 2008 para a costa do Rio Grande do Sul, identificou, para esta área costeira, o aumento do número de eventos extremos de velocidade de vento entre 1948 e 2013.

A ação marinha vem retrabalhando as dunas situadas mais próximas da praia, chamadas dunas frontais. Na área de estudo, nas adjacências da orla urbana são observadas dunas frontais instáveis dados processos de erosão costeira e galgamento marítimo. Material biodetrítico provenientes da faixa de praia pode ser encontrado por entre as dunas atestando a ação marinha para além da base das dunas frontais. Com isso, as dunas tendem a se deslocar mais pra retroterra acompanhando o movimento da linha de costa.

A tentativa de fixação da linha de costa (do avanço do sistema praia duna) para conter a erosão costeira se iniciou desde os primórdios de ocupação da orla, visto que os processos erosivos antecedem a ocupação. Segundo Luiz Rota de Oliveira, antigo frequentador e morador do balneário, até a década de 1990 havia boa presença de dunas frontais na área urbana. Neste período a praia era em geral mais larga defrontantes ao balneário durante a primavera e verão, fornecendo aporte para formação e regeneração das dunas frontais. A figura 4 demonstra esse panorama nas décadas de 1980 e início da década de 1990.

Figura 4. Fotografias de valor histórico demonstrando: A) Trecho da orla do balneário na década de 1980 e B) mesmo segmento no início da década de 1990. Fotos: Luiz Rota de Oliveira.

Na figura 4 é possível observar a orla com presença de sedimentos eólicos na base das dunas e nas dunas frontais, junto a porção central do balneário. Neste período a faixa de praia se comportava como uma típica praia de alta energia, com mobilidade e interação entre a praia e as dunas frontais. Na segunda metade da década de 1990 o

balneário foi castigado por severas tempestades, o que gerou uma grande degradação da orla com retirada do cordão de dunas frontais e destruição de propriedades, destacando-se o evento extremo de alta energia de onda ocorrido em abril de 1999, descrito em Esteves et al. (2000) (Figura 5).

Figura 5. a) Perfis antes e depois do evento de alta energia hidrodinâmica de 19 de abril de 1999. (Fonte: Modificado de Esteves et al., 2000. b) Fotografia de valor histórico demonstrando o impacto do evento de alta energia hidrodinâmica de 19 de abril de 1999 sobre a orla do balneário (Fonte: Souza et al., 2005. Foto: Ulisses Rocha de Oliveira).

Albuquerque (2013) encontrou uma taxa média de 1,68 m/ano de erosão entre 1947 e 2012 no local. Este autor registrou os maiores picos de erosão entre 1996 e 2000 (6,29 m/ano) e entre 2005 e 2006 (5,25 m/ano), que coincidem com eventos de *El Niño* e anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), ocorridas nestes mesmos períodos. Quando há ocorrência de fenômenos como *El Niño*, sobreposto as anomalias térmicas na temperatura de superfície do mar local, em condições de vento SW, geram uma intensificação da ação dos eventos de alta energia hidrodinâmica que incidem nas praias do extremo sul do Rio Grande do Sul, tendo como consequência uma subida do nível do mar na localidade. O estudo de Albuquerque (2013) aponta que nos períodos posteriores a ocorrência do conjunto de eventos *El Niño* (anomalia térmica) é que foram observadas as maiores taxas de retração da linha de costa na praia do Hermenegildo.

A ação das grandes “ressacas” progressivamente retirou material sedimentar das dunas frontais, mantendo, em parte, as estruturas

antropogênicas. As estruturas de contenção a erosão foram, e ainda são, colocadas pelos próprios donos das residências situadas à beira-mar de maneira predominantemente individual, como resposta imediata à erosão costeira, sem maiores estudos detalhados ou implantados sobre qual o melhor e mais apropriado método de proteção (Koerner et al., 2013).

Ressalta-se que mesmo com o avanço do mar a urbanização à beira mar seguiu crescendo e se adensando, sendo introduzidas estruturas mais rígidas, tais como muros e, posteriormente, enrocamento. A partir de 1998 começaram a ser realizados monitoramentos da orla urbana e suas estruturas de contenção, com destaque para os trabalhos de Esteves et al. (2000); Teixeira (2007); Koerner (2009); Koerner et al. (2013); Oliveira e Koerner (2015), os quais caracterizaram a expansão das estruturas contra a erosão.

O monitoramento da orla usando fotografias obtidas *in loco* entre 2008 e 2016 mostra uma redução do número de lotes defrontantes ao mar que apresentam depósitos eólicos (dunas frontais), com substituição destes

por materiais de diversos tipos utilizados para conter o avanço marinho. Atualmente a orla do balneário encontra-se fracionada em lotes privados, praticamente não havendo segmentos públicos, exceto nas vias e drenagens que encontram o mar. Entre 2009 e 2016 o número de casas (lotes) defrontantes ao mar que apresentam somente depósitos eólicos diminuiu de 40% para cerca de 20%. Já o número de lotes defrontantes ao mar que apresentam estrutura de contenção a erosão costeira aumentou de cerca de 50% para quase 70%. Há também lotes que apresentam tanto depósito eólico quanto alguma estrutura de contenção, tal como enrocamento, como uma espécie de transição do primeiro para o segundo.

Grande parte dos 40% dos lotes defrontantes ao mar observados em 2009 que apresentavam somente depósitos eólicos corresponde aos lotes dos extremos norte e sul do balneário. No segmento do extremo norte do balneário, as dunas frontais apresentavam apenas

uma pequena escarpa na base, com grande parte da sua morfologia defrontante ao mar relativamente preservada (Figura 6a). Com o passar dos anos, observou-se o processo de erosão das dunas frontais no trecho, resultando numa grande escarpa, a qual migrou para o interior continental, expondo as casas que outrora ficavam no reverso das dunas frontais. Em 2013 (Figura 6d), cinco casas desse segmento já apresentavam alguma estrutura de contenção antrópica, como muros de concreto, resíduos da construção e demolição, pneumáticos e muros de madeira, caracterizadas como estruturas simples de contenção. Tentativas de ações de regeneração dunar foram executadas no extremo norte da área, com inserção de galhação de árvores para retenção eólica, mas não foram bem-sucedidas, pois as dunas foram rapidamente erodidas. As Figuras 6d e 6e mostram a substituição das dunas frontais por estruturas de contenção.

Figura 6. Mosaicos de fotografias do extremo norte da orla do Balneário em (a) 28/8/2009, (b) 22/11/2010, (c) 5/12/2011, (d) 23/12/2013, (e) 27/9/2016 e (f) 19/11/2016 obtidas a partir da linha de baixa mar, mostrando a erosão das dunas frontais e o surgimento de formas simples de contenção. Fotos e mosaico: Ulisses Rocha de Oliveira.

Observando-se a figura acima, percebe-se a erosão da duna frontal e a exposição da urbanização e da vegetação originadas inicialmente no reverso das dunas. Os frágeis sedimentos eólicos somem entre a praia e a morfologia da retaguarda. A evolução deste processo de supressão das dunas fez com que os donos dos lotes defrontes ao mar passassem a substituir estruturas mais simples para formas mais complexas de proteção à erosão (Oliveira e Koerner, 2015). Com isto há, sobretudo no setor central do balneário, um reforço das estruturas de contenção, que

acarretaram em relativa estabilização da linha de costa no local, preservando o patrimônio edificado (Koerner et al., 2013). A partir desse processo de contenção, a porção central do balneário ficou quase que completamente antropizada, sem presença de dunas frontais e com predominância de enrocamentos. Já nas periferias do balneário a ocorrência de dunas ainda é identificada. No entanto, as dunas frontais acabam sendo mais susceptíveis aos processos erosivos do que as estruturas mais rígidas ou continuam a ser ocupadas, o que pode ser identificado na figura 7.

Figura 7. a) Variação da linha de costa no balneário do Hermenegildo entre 19/07/2005 e 30/10/2016, utilizando a imagem GeoEye® de 2016 como base cartográfica. b-c) Destaque para o crescimento urbano sobre as dunas no setor sul entre 2005 e 2016 usando as referidas datas como base cartográfica. d-e) Destaque para a erosão das dunas frontais no setor norte entre 2005 e 2016 usando as referidas datas como base cartográfica.

Observa-se na figura 7 que a variação da linha de costa foi maior entre 2005 e 2016 onde há dunas frontais, pois são mais susceptíveis a erosão, gerando a supressão das mesmas, pois estas não conseguem avançar a retroterra dada a presença das ocupações. As principais alterações nos últimos anos ocorreram nos setores norte e sul do balneário onde as dunas frontais vêm sendo urbanizadas e erodidas, mais urbanizadas no extremo sul e mais erodidas no extremo norte do balneário. No norte do balneário a retração das dunas foi de cerca de 30 metros entre 2005 e 2016.

O ano de 2016 foi de bastante energia hidrodinâmica para o local conforme observações *in loco*. Diversos ciclones extratropicais atingiram a costa sul do Brasil, ocasionando eventos de alta energia de onda, sendo o ocorrido em 27 de outubro provavelmente o mais impactante da recente história do balneário. Imagens aéreas obtidas em dois voos realizados *in loco* no balneário durante o ano de 2016 com o auxílio de um drone DJI® modelo Phantom 3 Professional caracterizaram o processo erosivo. A figura 8 ilustra a supressão das dunas frontais ao norte do balneário em 2016.

Figura 8. a) Mosaico de fotografias aéreas obtidas por um drone DJI®, modelo Phantom 3 Professional, contemplando a área de dunas no extremo norte do balneário Hermenegildo em 27 de setembro de 2016. b) Área de dunas obtida com a mesma metodologia em 19 de novembro de 2016. c) Diferença entre a área de dunas antes e depois da passagem do ciclone, com destaque em vermelho claro para a área de dunas que foi perdida. Este segmento é representado também na figura 6, sendo 6e e 6f registradas nos mesmos dias de 8a e 8b, respectivamente.

A primeira cena já identifica uma praia erodida, decorrente de ondas de alta energia que ocorreram no outono/inverno. Em setembro de 2016 as dunas frontais apresentavam cerca de 8116,21 m². Em 27/09/2016 foi realizado tanto um mapeamento com drone (Figura 8), quanto obtidas imagens a partir da face praial (Figura 6). No entanto, após outras ondulações de moderada-alta energia, em 27 de outubro de 2016, um poderoso ciclone gerou ondas de mais de 5 metros junto a costa segundo dados do ondógrafo do Projeto Rede Ondas (situado nas adjacências da desembocadura

da lagoa do Patos a 10 km da costa) e um aumento intenso do nível de maré segundo dados coletados pela Praticagem do Porto do Rio Grande. Esta foi uma das mais fortes já registradas no período analisado (senão a mais), causando danos não vistos desde o evento de 19 de abril de 1999 (Figura 5), quando as estruturas de contenção eram mais frágeis. Neste evento de 2016, a maior parte da orla urbana e estruturas de contenção sofreram danos, bem como as dunas frontais, que sofreram severa erosão e supressão, passando a ter 4197,87 m². O valor de redução das dunas calculado foi de

3918,34 m². Isto representou quase 50% de supressão das poucas dunas remanescentes no segmento norte do balneário em um único evento erosivo. Este fato demonstra que grandes porções de dunas podem ser suprimidas em curto espaço de tempo, durante os chamados eventos extremos de alta energia de onda.

Podemos perceber então que, com o passar dos anos, as dunas frontais da orla do balneário Hermenegildo foram sendo gradativamente suprimidas entre a praia e as edificações, sendo quase que inteiramente substituídas por estruturas de contenção e quase totalmente suprimidas da orla do balneário no evento erosivo de 2016. Por outro lado, as edificações aumentaram sua projeção em relação a linha de costa, fato também observado por Koerner et al. (2013).

A figura 9a, uma fotografia aérea oblíqua obtida por drone, demonstra edificações projetadas junto a faixa de praia em relação as dunas. Esta urbanização sobre a face da praia dificulta o transporte sedimentar e o processo natural de acomodação de sedimentos, prejudicando a praia como espaço de lazer, acarretando em problemas socioambientais relacionados ao uso do espaço. No primeiro plano da figura 9a se encontram as dunas do norte do balneário antes de serem erodidas pelo evento de 27 de outubro de 2016. Percebe-se que estas não conseguem avançar para retroterra devido a ocupação na retaguarda, ficando espremidas entre as edificações e o mar que vem avançando nas últimas décadas de forma não linear, fato que não ocorre nas adjacências (Figura 9b).

Figura 9. Fotografias aéreas oblíquas obtidas em 27/09/2016 com o drone, antes do evento erosivo de 27/10/2016. a) Retenção do avanço das dunas frontais para retroterra devido a urbanização e erosão da base da duna por ação marinha. b) Presença de dunas frontais ao sul da área urbana, mantendo sua configuração. Fotos: Ulisses Rocha de Oliveira e Rodrigo Silva Simões.

Além do processo erosivo que vem ocorrendo ao longo das últimas décadas, sendo este por vezes mais ativos, por vezes menos, decorrente da ação meteorológica e oceanográfica regional, um outro ponto de supressão das dunas frontais é vinculado ao crescimento urbano que segue ocorrendo no local. Isto ocorre mesmo com todos os problemas já vigentes, avisos por parte de autoridades públicas e universidades e inclusive assinatura de um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) pela Prefeitura Municipal de Santa Vitória do Palmar para estancar o crescimento da orla assinado no início dos anos 2000 (Mota, 2017). Este TAC é fruto de ação do Ministério Público Federal (MPF) em que se estabeleceu a garantia de resguardar a ocupação em uma faixa de 300 metros da linha de preamar máxima, cujos limites foram amparados pela CONAMA 303/2002 atualmente

em vigor (Teixeira, 2007). No entanto, o que se percebe é o adensamento em áreas já urbanizadas até a ocupação de novas áreas com presença de dunas, como demonstra a figura 10. Ocupar outros segmentos de duna frontal não é uma boa prática, pois aumenta os custos de manutenção da orla e traz mais danos socioambientais. Embora ainda não cumprido, o referido TAC resultou em mudanças nos instrumentos de ordenamento territorial com a publicação do Plano de Manejo de Dunas (NEMA, 2009), de Diretrizes para o Ordenamento Territorial Costeiro entre Hermenegildo e Barra do Chuí (NEMA, 2013) e a incorporação do balneário ao Plano Diretor Municipal em 2015 (Mota, 2017).

Embora a supressão e estabilização das dunas móveis da planície tenha possibilitado o crescimento urbano e a valorização do solo, a

ausência de dunas frontais pode ocasionar danos ambientais, prejuízos financeiros e ao equilíbrio sedimentar e ecológico. Em um período de instabilidades climáticas e administrativas, o futuro do local é incerto. No entanto, os dados demonstrados neste trabalho indicam um direcionamento dos processos e ações sobretudo nos últimos 50 anos que podem, ou não, seguir nesta direção.

Deve-se ressaltar ainda que o sistema praia-duna preservado cumpre uma função ambiental e pode ser mais atrativo economicamente, atuando como uma proteção natural às edificações, dando também um aspecto menos privativo a orla e um melhor aspecto paisagístico aos próprios usuários da praia.

Figura 10. Caracterização da expansão urbana sobre dunas frontais no extremo sul do balneário através de fotografias obtidas a partir da face da praia em (a) 28/8/2009, (b) 22/11/2010, (c) 5/12/2011, (d) 29/01/2013 (e) 23/12/2013, (f) 29/12/2014, (g) 5/2/2016, (h) 27/9/2016, (i) 19/11/2016. Esta área também está representada em planta nas figuras 7b e 7c. Fotos: Ulisses Rocha de Oliveira.

Considerações finais

Durante o processo de ocupação do balneário Hermenegildo foram identificados alguns ordenamentos de ações, tais como: a construção e melhoria de via de acesso, a estabilização das dunas e a abertura de ruas e aterros. Em relação a via de acesso, esta inicialmente era uma trilha de areia sobre as dunas que posteriormente recebeu saibro e, por fim, foi asfaltada configurando a via vicinal atual. Por sua vez, para a estabilização do campo de dunas transgressivas, destacam-se as ações desenvolvidas

durante a década de 1960 relacionadas ao plantio de espécies exóticas com o objetivo de diminuir o transporte eólico que acabava por soterrar vias públicas e edificações. Estas espécies exóticas encontraram em um período de aumento da umidade e precipitação boas condições para a sua proliferação. No caso da área de estudo, a espécie introduzida foi a Acácia, plantada num viveiro próximo e posteriormente realocada para a área de interesse. As dunas foram suprimidas nas décadas seguintes por mudanças no uso da terra (aumento da densidade das edificações e abertura de vias públicas).

Por fim, restaram apenas as dunas frontais na área do balneário, que vem sendo suprimidas entre o mar e as edificações em função da erosão costeira e contínuo crescimento urbano a beira mar, o qual gera estabilização mecânica e impede o deslocamento das dunas para retroterra. Até a década de 1980, dunas embrionárias e frontais eram recorrentes na orla urbana. A partir dos anos de 2000 o perfil passa a ser predominantemente composto por uma escarpa antropizada, fruto da ação (resistência) humana ao processo erosivo. Atualmente, quase toda a orla urbana é composta por enrocamento e outras formas de contenção, restando pequenos fragmentos de dunas frontais nas porções norte e sul do balneário, sendo que as dunas ao norte foram quase completamente suprimidas após a passagem de um evento extremo de alta energia de onda em outubro de 2016.

A introdução de vegetação exótica e a expansão urbana, somadas as mudanças climáticas (mais precipitação e mais erosão costeira), geraram uma grande transformação na paisagem local. De uma barreira holocênica praticamente recoberta de dunas móveis com dunas frontais preservadas para uma barreira coberta de vegetação exótica e urbanizada até o limite praiar. Não há sinais de alteração desse processo, no que tange ao planejamento do local analisado, embora existam questões jurídicas em vigência e planejamento de ocupação de novas áreas.

Este trabalho demonstrou que, para ocorrer a estabilização e a supressão dunar, foram necessárias décadas de diversas intervenções humanas somadas ao clima favorável. Por um lado, estas ações possibilitaram uma ocupação em um ambiente mais estável do ponto de vista sedimentar do que há décadas atrás, onde dunas e sedimentos invadiam as residências. Por outro lado, estas ações acabaram por alterar o limite praia duna, com a disposição de estruturas de contenção à erosão em quase toda a orla urbana, prejudicando, por sua vez, o turismo e o uso da praia como espaço de lazer, justamente o motivo que levou à ocupação do balneário inicialmente.

O histórico ambiental do local remete também o impacto das mudanças climáticas, que favoreceram a estabilização da barreira com vegetação, dada maior precipitação, e promoveram eventos erosivos intensos, fazendo com que o mar avançasse em relação ao continente, mas, sobretudo, reflete a ação humana de estabilizar um local sedimentar altamente dinâmico e resistir as transformações deste. Neste cenário, o Estado não foi ausente, mas sim conivente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Monitoramento da Criosfera da FURG e ao Grupo de Pesquisa GEOMA - IFRS Campus Rio Grande - pelo suporte técnico.

Referências

- Albuquerque, M.G., 2013. Análise espaço temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS. Tese (Doutorado). Porto Alegre. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Albuquerque, M.G., Espinoza, J.M.A., Teixeira P.S., Oliveira, A., Correa, I.C.S., Calliari, L.J. 2013. Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon method for the determination of erosive processes on sandy beaches. *Journal of Coastal Research* 65, 1710-1714. Disponível: DOI: 10.2112/SI65-289.1. Acesso: 08 abr. 2018.
- Alves, D.C.L., 2013. Análise da vulnerabilidade nos balneários Querência-Atlântico Sul e Hermenegildo (RS) a partir de indicadores geomorfológicos e antrópicos. Dissertação (Mestrado). Rio Grande. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande.
- Barros, V., Doyle, M., 1996. Precipitation trends in southern South America to the east of the Andes, in: Kinter III, J., Schneider, E.K. (Eds.), Report no 26. Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, pp. 76-80.
- Calliari, L.J., Klein, A.H.F., 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS Pesquisas. 20, 48-56. Disponível: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21281>. Acesso: 05 abr. 2018.
- Carter, R.W.G., 1988. Coastal Environments: An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastline. Academic Press, London.
- Delfino, L., Masciadri, S., 2005. Reveliamento florístico em el Cabo Polônio, Rocha, Uruguay. *Iheringia Serie Botânica* 60(2), 119-128. Disponível: <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/189>. Acesso: 05 abr. 2018.
- Dillenburg, S., Tomazelli, L.J., Martins, L.R., Barbosa, E.G., 2005. Modificações de longo período da linha de costa das barreiras costeiras do Rio Grande do Sul. *Gravel* 3, 9-14. Disponível:

- http://www.ufrgs.br/gravel/3/Gravel_3_02.pdf. Acesso: 05 abr. 2018.
- Esteves L.S., Pivel M.A.G., Silva A.R.P., Barletta R.C., Vranjac, M.P., Oliveira U.R., Vanz, A. 2000. Beachfront owner's perception of beach erosion along an armored shoreline in southern Brazil. *Pesquisas em Geociências* 27(2), 93-109. Disponível: <http://www.seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20194>. Acesso: 05 abr. 2018.
- Esteves, L.S., Oliveira, U.R., Silva, A.R.P., Vranjac, M.P., Pivel, M.A.G., Vanz, A., 2003. Seasonal Changes in Beach Profile Inducing the Response of Beachfront Owners in Southern Brazil. *Journal of Coastal Research* 35, 557-563.
- Grabski, K.R., Farina, F., Ayup-Zoauin, R., Silva, T.S., 2015. Estudo da dinâmica da urbanização e seus impactos sobre ambientes costeiros baseado em Sensoriamento Remoto e SIG. Caso do município de Santa Vitória do Palmar, RS. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*. Disponível: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/05.31.21.54/doc/@sumario.htm>. Acesso: 10 de nov. 2017.
- Hesp. P.A., 1999. The beach back shore and beyond, in: Short, A.D. (Org.), *Handbook of beach and shore face morphodynamics*. John Wiley & Sons, 1999. pp. 145-169.
- Hesp, P. 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology* 48, 245-268. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00184-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00184-8). Acesso: 08. Abr. 2018.
- Lima, L.G., 2008. Estratigrafia e evolução da barreira holocênica na Praia do Hermenegildo (RS). Dissertação (Mestrado). Porto Alegre. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível: <http://hdl.handle.net/10183/21081>. Acesso: 05 abr. 2018.
- Koerner, K.F., 2009. Variação espaço-temporal em médio e curto termo da orla do balneário do Hermenegildo, RS. Trabalho de conclusão de curso. Rio Grande. Graduação em Oceanologia. Universidade Federal do Rio Grande.
- Koerner, K.F., Oliveira, U.R., Gonçalves, G., 2013. Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 13(4), 457-471. Disponível: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-405_Koerner.pdf. Acesso: 05 abr. 2018.
- Machado, A.A., 2014. Estudo dos padrões atmosféricos sinóticos geradores de eventos extremos de altura de onda, intensidade do vento, marés meteorológicas e erosão na costa do Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado). Rio Grande. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande.
- Maia, N.Z., 2011. Avaliação da elevação do nível do mar e riscos de inundação costeira associados à passagem de ciclones no Balneário Hermenegildo, RS. Dissertação (Mestrado). Rio Grande. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande.
- Maureira, L.E.Z., 2016. Evaluacion del estado de morfoconservacion de los sistemas dunares costeros de la Provincia de Arauco. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia. Universidad de Concepción, Chile.
- Mota, G.S., 2017. A gênese do risco sob a ótica das dinâmicas naturais e humanas: erosão costeira nas orlas urbanizadas de Aguas Dulces/Uruguai e Hermenegildo/Brasil. Dissertação (Mestrado). Rio Grande. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande.
- NEMA. Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental, 2009. Plano de Manejo e Conservação de Dunas de Santa Vitória do Palmar. Rio Grande.
- NEMA. Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental, 2013. Diretrizes para o Ordenamento Territorial Costeiro de Santa Vitória do Palmar. Rio Grande.
- Oliveira, U.R., Koerner, K.F., 2015. Comportamento das estruturas de contenção à erosão costeira no balneário do Hermenegildo. *Revista de Engenharia e Tecnologia* 7(2), 1-10. Disponível: <http://revistaret.com.br/ojs-2.2.3/index.php/ret/article/view/398>. Acesso: 05 abr. 2018.
- Smith, M.J., Cromley, R.G., 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions in GIS* 16 (1), 1-15. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702014000300040>. Acesso: 08 abr. 2018.
- Souza, C.R.G., Souza Filho, P.W.M., Esteves, L.S., Vital, H., Dillemburg, S.R., Patcineelam, S.M., Addad, J.E. 2005. Praias arenosas e erosão costeira, in: Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S., Oliveira, P.E., (Eds.). 2005.

- Quaternário no Brasil. Holos Editora, pp. 130-152.
- Teixeira, P.S., 2007. Subsídios para o gerenciamento costeiro por erosão da falésia no balneário Hermenegildo, RS, Brasil. Dissertação (Mestrado). Rio Grande. Programa de Pós-graduação em Oceanografia Química, Física e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande.
- Tozzi, H.A.M., 1999. Influência das Tempestades Extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ugri, A., 2004. Mudanças em escala histórica das dunas costeiras do extremo sul do Brasil. Dissertação (Mestrado). Rio Grande. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica. Universidade Federal do Rio Grande.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., 1995. Geologia costeira da Província costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas 8, 1-45.