Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Variação das dunas no Balneário Barra do Chuí, extremo sul do Brasil, entre 2005-2018

Guilherme da Silva Rodrigues ^(a), Ulisses Rocha de Oliveira ^(b), Karine Bastos Leal ^(c)

^(a)Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), guilherme.gsr8@gmail.com.

^(b)Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande (ICHI – FURG), ulisseslicke@yahoo.com.br.

^(c)Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), karinebleal@gmail.com.

Artigo recebido em 22/11/2020 e aceito em 11/02/2021

RESUMO

As dunas costeiras são feições naturais formadas a partir das praias arenosas, devido a interação do vento, areia e vegetação. No entanto, a ação humana torna-se uma variável cada vez mais relevante em sua dinâmica, ocasionando problemas ambientais. O presente trabalho tem como objetivo quantificar e caracterizar, a partir de uma série temporal de imagens orbitais no intervalo entre 2005 e 2018, a mobilidade das dunas no Balneário Barra do Chuí – RS, especificamente a variação na base das dunas frontais. O intuito é verificar processos de erosão e sedimentação na orla do balneário, bem como a variação do limite do reverso do campo de dunas, onde se encontra a área urbana edificada do balneário. A metodologia foi empregada a partir de imagens orbitais adquiridas no *software* Google Earth Pro® e técnicas realizadas nos *softwares* ArcGIS 10.3.1® e ERDAS Imagine 2013®. A variação das linhas de costa analisadas foi obtida a partir do Método do Polígono de Mudança, por meio de uma linha de controle aplicada aos limites praia-duna frontal e reverso da duna. O Balneário Barra do Chuí, no período estudado, apresentou predomínio de taxas de erosão das dunas frontais, onde depósitos pleistocênicos estão sendo diretamente trabalhados pela ação marinha. O reverso das dunas apresentou tendência de avanço em relação à retroterra. Constatou-se que em alguns locais o transporte eólico de sedimentos está soterrando algumas residências.

Palavras-chave: Limite praia-duna. Reverso das Dunas. Geotecnologias. Método do Polígono de Mudança.

Foredune variation in the Barra do Chui coastal settlement, southern Brazil, between 2005-2018

ABSTRACT

Foredunes are natural features formed from sandy beaches, due to the interaction of wind, sand, and vegetation. However, human action becomes an increasingly relevant variable in its dynamics, causing environmental problems. The present work aims to quantify and characterize, from a time series of orbital images in the interval between 2005 and 2018, the dune mobility in the Barra do Chui coastal settlement, specifically the variation in the base of the frontal dunes, in order to check erosion and sedimentation at the edge of the resort, as well as the variation of the limit of the reverse of the dune field, where the built-up area of the resort is located. The methodology was used based on orbital images acquired in the Google Earth Pro® software and techniques performed in the ArcGIS 10.3.1® and ERDAS Imagine 2013® software. The variation of the coastlines analyzed was obtained from the Change Polygon Method, through a control line applied to the frontal and reverse dune beach-dune limits. The Barra do Chui coastal settlement, in the studied period, presented a predominance of erosion rates of the frontal dunes, where Pleistocene deposits are being directly worked by the marine action. The reverse side of the dunes showed an upward trend in relation to the retrograde, in fact, in some places, wind sediment transport has already been burying some homes.

Keywords: Dune-Beach Limit. Dunes Reverse. Geotechnologies. Change Polygon Method.

Introdução

As complexidades sistêmicas das zonas costeiras as tornam altamente sensíveis e vulneráveis, pois uma pequena alteração em um de seus parâmetros pode provocar grandes modificações em todo o sistema. Vasconcelos (2005) relata que o produto da complexa relação de forças atuantes nos ambientes costeiros manifesta-se numa variedade de sistemas ambientais, os quais apresentam graus de vulnerabilidade diversos, e que, em geral, possuem fragilidade quanto ao equilíbrio dinâmico.

O ambiente costeiro é composto por um complexo sistema de interações entre os elementos marinhos, continentais e atmosféricos, sendo esta, uma zona de confluência de diferentes forças (Muehe, 2003). Neste ambiente se inserem as praias arenosas oceânicas, que segundo Short (1999) são corpos de sedimentos arenosos não coesivos e inconsolidados sobre a zona costeira. As praias constituem um dos ambientes mais ativos, sendo considerados como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que constantemente se ajustam às flutuações dos níveis de energia locais que sofrem retrabalhamento por processos eólicos, biológicos e hidráulicos (Hoefel, 1998). O balanço sedimentar dessa zona determina perdas e ganhos no volume de sedimentos. Quando o balanço for negativo, ou seja, quando houver mais perda do que ganho de sedimentos, a praia apresenta estado de erosão, mas quando o balanço for positivo, a praia apresenta acreção (Souza et al., 2005). A variação da linha de costa é afetada por modificações nas feições geológicas e geomorfológicas do ecossistema local. Devido à grande dinâmica desses ambientes, o estudo da variação de linha de costa apresenta-se de forma sistêmica e complexa (Leal, 2016). Mazzer e Dillenburg (2009) afirmam que o mapeamento sistemático da linha de costa representa ferramenta para a geração de informações fundamentais para o planejamento e gerenciamento costeiro.

Também inseridas no ambiente costeiro, as dunas são barreiras naturais contra extravasamento da água do mar, inundações, estresse do vento, transporte de sedimento e *spray* marinho durante tempestades, o que ajuda a manter a integridade geral dos habitats da parte interior da praia (Nordstrom, 2010). As dunas frontais, definidas como cordões paralelos à costa, convexos, simétricos ou assimétricos, estão situadas na retaguarda da linha de maré alta na porção superior do pós-praia. São formadas por deposição eólica na presença de vegetação (Hesp, 2002), ocorrendo em

muitos casos logo após o limite superior da praia. No sistema costeiro também podemos encontrar locais de dunas transgressivas, são dunas eólicas costeiras não vegetadas que, alimentadas por areias praias, migram para o interior da costa, recobrando ou “transgredindo” terrenos mais antigos (Hesp e Thom, 1990). Também conhecidas na literatura como dunas móveis, livres, ativas ou migratórias, possuem como característica principal a ausência de vegetação, o que permite a migração, promovida, basicamente, através dos processos deposicionais de avalanche, principalmente, os fluxos de grãos que ocorrem em sua face de deslizamento (Bagnold, 1941). Neste trabalho será utilizado o conceito de dunas ativas para caracterizar depósitos eólicos que se mantêm em movimento atualmente.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a variação das dunas no balneário da Barra do Chuí, extremo sul do Brasil, para o período entre 2005 e 2018. Como objetivos específicos estão: verificar a variação (deslocamento) da base das dunas frontais, ou limite superior da praia, analisando processos erosivos e de sedimentação; caracterizar a variação do limite do reverso do campo de dunas ativas, onde se encontra a área urbana edificada do balneário, identificando processos de transgressão dunar em relação a retroterra ou retração destas pela cobertura vegetal e urbanização; além de caracterizar o crescimento urbano do referido balneário no período analisado, estabelecendo relações entre estes componentes urbano e eólico. Ressalta-se que a expansão urbana sem um planejamento adequado pode ocasionar danos ambientais e ao próprio patrimônio edificado, associado à erosão, ao soterramento e às enchentes. Assim, demonstra-se a necessidade de propor subsídios à gestão costeira integrada, com intuito de minimizar os impactos e, conseqüentemente, as suas vulnerabilidades. Desta forma, a medição e a caracterização da variação dunar pode contribuir para a melhor avaliação de medidas com relação à ocupação da referida zona costeira pelo ser humano e suas atividades.

Área de estudo

O Balneário Barra do Chuí se situa no município de Santa Vitória do Palmar, extremo sul do estado do Rio Grande do Sul e do território brasileiro (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da Área de Estudo. Fonte: Própria do trabalho.

Quanto à geologia e à geomorfologia, na área de estudo, há uma pequena barreira Holocênica, chamada Barreira IV, com tendência retrogradante, composta pelo sistema praial e por dunas que avançam sobre depósitos Pleistocênicos (Dillenburg et al., 2005; Caron, 2007). Segundo Moller (2014), a área urbana edificada do Balneário Barra do Chuí encontra-se sobre a barreira pleistocênica, chamada Barreira III. Sendo assim, ao observar esta situação, pode-se inferir que a área de estudo está em um trecho classificado como *mainland beach*, sendo este o último estágio da barreira retrogradante, com presença de um

estreito campo de dunas, composta por dunas frontais e ativas, estágio antes da mesma ser suprimida pelo oceano. Segundo Buchmann et al. (2009) na área entre o Balneário Hermenegildo e a Barra do Chuí, ocorre um processo de retrogradação da costa, onde os processos de erosão são mais eficazes que os de acreção ou sedimentação. Isso resulta na exposição do substrato pleistocênico em segmentos da linha de costa atual, compostos estes de lamas e turfas de origem lagunar.

Para poder entender melhor a dinâmica costeira da área de estudo, precisa-se também

observar os regimes de ondas, marés e dos ventos, dado que os mesmos são os principais processos costeiros atuantes. A amplitude média anual da maré astronômica na costa do estado do Rio Grande do Sul varia entre 0,47 m e 1,2 m. Assim, pode-se afirmar que esta costa sofre ação de micro maré astronômica (Villwock et al., 1996).

Quando se observa que a maré astronômica exerce pouco influencia na região, pode-se inferir que as ondas oceânicas são a principal fonte de energia hidrodinâmica para a zona costeira da área de estudo. Romeu et al. (2010) em seu diagnóstico dos padrões de ondas na costa do Rio Grande do Sul, através de uma base de dados de reanálise ao longo de 30 anos, identificou a predominância de vagas (*sea waves*) do quadrante leste durante o verão, ondulações (*swell waves*) do quadrante sul e sudeste dominantes no outono e inverno além de ondulações de leste as quais predominam durante a primavera. Os mesmos autores ressaltam que há um equilíbrio entre dois setores de direções dominantes: S-SSE e NEE-ENE, com percentuais de ocorrência de cerca de 30% cada, com maior número de ocorrência de vagas do quadrante leste e ondulações do quadrante sul.

Quanto aos padrões de vento para a região, Tessler e Goya (2005) descreveram que os ventos e sistemas climáticos predominantes estão diretamente relacionados à atuação do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS) e dos Anticiclones Polares Migratórios (APM). Esses dois sistemas determinam os padrões de ventos predominantes, de quadrante NE durante primavera e verão, e estão relacionados com o deslocamento de sistemas frontais e linhas de instabilidade, condicionando ventos de quadrantes SW-S-SE mais intensos durante outono e inverno. Assim as massas de ar provenientes desse anticiclone são predominantes durante o ano e sobre elas incidem as influências da inclinação sazonal da radiação solar e as penetrações de frentes frias do anticiclone polar. Mvotma (2013) relata que na região da área de estudo as temperaturas médias variam entre 16° e 18,5°C e a precipitação entre 1000mm e 1500mm anuais. Isso ocorre por sua localização em uma região de fronteira entre latitudes subtropicais e médias temperadas (Nobre et al., 1986). Há influência da precipitação e da umidade na variação das dunas no local e também da radiação solar. Na primavera e verão as dunas ativas tendem a migrar mais na área de estudo.

Por fim, ao se observar as tempestades oceânicas, as quais resultam em processos erosivos intensos em curto espaço de tempo no

extremo sul do Brasil e na costa atlântica do Uruguai, refere-se a eventos ciclônicos de escala sinótica ou subsinótica (Lélis, 2003). Cabe destacar que a área de estudo sofre influência das chamadas marés de tempestade, principalmente nos meses de outono e inverno, quando são observadas elevações do nível do mar na ordem de 1 a 2 metros em relação à maré astronômica prevista. Tal situação ocorre sobretudo durante a ação dos chamados eventos de alta energia, causados por ciclones extratropicais e frentes frias. A intensidade que esses processos erosivos vão resultar tem relação direta com a orientação da linha de costa, quadrante de propagação de ventos/ondas e a própria fragilidade do sistema praia duna analisado, levando-se em conta características naturais e antrópicas (Leal et al. 2020).

Material e métodos

As chamadas geotecnologias, ferramentas e aportes técnicos, são importantes no estudo dos complexos ambientes costeiros, dado o seu caráter de mensuração e organização espacial de diferentes elementos. Visa sua caracterização e compreensão, podendo ajudar nas ações de planejamento costeiro. A determinação do posicionamento da linha de costa e sua variabilidade podem ser feitas por diversas técnicas, sendo que a escolha do método depende da disponibilidade de dados, da logística e das escalas espacial e temporal que se pretende analisar (Lélis, 2003). Para as quantificações das variações históricas da linha de costa, são mais comumente utilizadas as fotografias aéreas e as imagens de satélites (Albuquerque, 2013). O presente estudo visa dar continuidade e ampliar a análise e a série de dados do estudo desenvolvido por Leal (2016) e Leal et al. (2018), os quais analisaram a variação do limite entre a praia e a duna frontal em diversas localidades costeiras, ou balneários, da costa oceânica central e sul do estado do Rio Grande do Sul. Este estudo também foi baseado na análise de imagens orbitais.

No presente trabalho, a primeira etapa realizada foi a aquisição das imagens orbitais através do *software* Google Earth Pro®. Estas foram obtidas a uma altitude de 1 quilômetro com uma resolução de aproximadamente 4800 x 3020 pixels, para posterior processamento. Foram utilizadas imagens aéreas de 18 de julho de 2005, 7 de outubro de 2009, 14 de outubro de 2013, de 29 de outubro de 2016 e de 27 de dezembro de 2018. Após o processo de aquisição, foi feita a etapa de

mosaicagem, a fim de obter a cobertura total da área de estudo, através do *software* ArcGIS 10.3.1®. Deste modo, o recorte espacial do Balneário Barra do Chuí apresentou dimensão, no o trecho analisado, de 2,7 km de extensão. Após, foi feito o georreferenciamento do mosaico base da área de estudo, com *Root Mean Square Error* (RMSE) de 0,3 m. Empregou-se a projeção Sirgas 2000, Zona 22 Sul. Após a criação do mosaico como imagem-base, o mesmo foi utilizado como referência no processo de correção, a fim de garantir a coincidência espacial entre todos os dados utilizados.

Com os mosaicos corrigidos, realizou-se a vetorização das extremidades da área de dunas, incluindo a base das dunas frontais, ou limite superior da praia (podendo ser chamado também de limite praia-duna), um dos indicadores de linha de costa proposto por Boak e Turner (2005). Além da linha do reverso do campo de dunas ativas (limite entre o terreno vegetado e o coberto pelas dunas) local próximo à área urbana edificada do balneário em estudo. A vetorização foi realizada em escala de 1:5000, a qual permite uma ampla e detalhada visualização das feições.

Para caracterizar a variação da base das dunas, optou-se pela nomenclatura *acresção da duna frontal e erosão da duna frontal*. Já para o limite reverso das dunas, optou-se por uma nomenclatura diferente, identificando o avanço do reverso das dunas ou o recuo do reverso das dunas. Esta variação na nomenclatura deve-se aos processos costeiros ocorrerem de forma distinta. A base das dunas está sujeita a erosão pela ação marinha, e também a processos de recomposição, onde são acrescidas de sedimento. Já no reverso das dunas, existe maior dificuldade para analisar o processo de erosão, numa perspectiva em planta, sendo então definido o avanço das dunas para retroterra ou o recuo destas, seja por processo natural ou ação humana.

Já para o cálculo da variação dos dois limites analisados, se seguiu a metodologia proposta por Smith e Cromley (2012), conhecida como Método do Polígono de Mudança (*The Change Polygon Method*). Esta metodologia foi utilizada anteriormente por Albuquerque et al. (2013), Leal (2016), Albuquerque et al. (2018), Oliveira et al. (2018), Leal et al. (2020), entre outros, tanto para a linha de costa do Rio Grande do Sul, quanto para demais locais no país e em outros países.

Sendo assim, o avanço do presente estudo em relação aos anteriores é analisar, além do limite praia duna, o reverso das dunas. Segundo Leal et

al. (2018), o Método do Polígono de Mudança tem uma boa resposta em áreas não homogêneas, por considerar as áreas ao invés de valores pontuais para determinar as taxas de variações das linhas de costa. O modelo aplicado considera a variação de toda a área costeira, pois consiste na subtração dos polígonos em pares (entre os anos), neste caso, da duna frontal e do reverso das dunas. Para esta etapa utilizou-se o *software* ERDAS Imagine 2013®.

Por fim, foi feita a vetorização das edificações do balneário. No ano de 2005, o Governo Municipal de Santa Vitória do Palmar assinou um Termo de Ajuste de Conduta (TAC) com o Ministério Público Federal para os balneários localizados no município. O mesmo se comprometia a resguardar a ocupação da orla, em pelo menos, uma faixa de terreno, com largura de 300 m, a contar da linha de preamar máxima, preservando as suas dunas costeiras consideradas como Áreas de Preservação Permanente (APP), não concedendo autorização ou permissão para a construção de residências na faixa referida. Deste modo, foram vetorizadas apenas as edificações que estão dentro desta faixa de ocupação. As imagens utilizadas nessa análise foram as de 2005, que corresponde ao ano que o termo foi firmado, e a de 2018, a mais recente disponível. Nesse processo quantificou-se o número de edificações presentes nas imagens analisadas. O objetivo foi de verificar se houve aumento ou diminuição da densidade de residências nessa faixa de terra, a fim de relacionar o crescimento urbano com a dinâmica das dunas ativas, o que pode aumentar sua vulnerabilidade aos processos costeiros analisados.

Resultados e discussão

Variação das dunas

As Figuras 2, 3, 4 e 5 demonstram as variações morfológicas numa perspectiva em planta das dunas da área de estudo, isto é, aquelas que se mantêm em movimento atualmente, tanto a variação da posição da base das dunas frontais, quanto do limite do reverso do campo de dunas ativas. Na Figura 2 são identificadas variações entre 18 de julho de 2005 e 7 de outubro de 2009, estando os dados plotados sobre a imagem de 2009. Na Figura 3 estão identificadas variações entre 7 de outubro de 2009 e 14 de outubro de 2013, com resultados plotados sobre a imagem de 2013. Já na Figura 4 são identificadas variações entre 14 de outubro de 2013 e 29 de outubro de 2016, plotadas sobre a imagem de 2016. Por fim, na Figura 5 pode-se identificar as variações entre 29 de outubro de

2016 e 27 de dezembro de 2018, sobre a imagem de 2018.

Figura 2. Variação na base das dunas frontais entre 2005 e 2009 e variação do limite do reverso do campo de dunas entre 2005 e 2009, sobre a imagem de 2009.

A imagem de 2005 foi obtida no inverno, enquanto a de 2009 foi obtida na primavera. Entre os anos de 2005 e 2009 (Figura 2), houve maior taxa de acreção em relação à erosão na base das dunas frontais, sendo o ganho de 11635 m² e a perda de 7594 m², havendo deslocamento médio de 2,33 m. Os valores acrescivos ocorreram principalmente na porção central e nordeste da área de estudo, principalmente devido à deposição eólica na base das dunas frontais junto a um canal sangradouro. Enquanto que à sudoeste, próximo aos molhes, predominou a erosão na base das dunas frontais.

Nesse mesmo período entre 2005 e 2009, o limite do reverso do campo de dunas apresentou o predomínio do avanço em direção à área edificada

do balneário, sendo o avanço medido de 14786 m², enquanto o recuo foi de apenas 8402 m², ocorrendo um deslocamento médio do reverso das dunas ativas em direção à retroterra de 3,74 m. Os valores de maior avanço dunar ocorreram principalmente na porção central e sudoeste da área analisada, próximo a porção mais antiga e consolidada do balneário. Houve significativo avanço dunar em relação a retroterra nessa porção da área de estudo, de modo que, uma rua que antes existia entre as dunas e a área edificada do balneário começa a ser soterrada pelas dunas. Já a maior taxa de recuo do limite reverso das dunas ativas ocorreu a nordeste da área analisada, localidade chamada de Alvorada.

Varição da Base das Dunas Frontais e do Reverso das Dunas entre 2009 e 2013

Figura 3. Variação na base das dunas frontais entre 2009 e 2013 e variação do limite do reverso do campo de dunas entre 2009 e 2013, sobre a imagem de 2013.

A imagem de 2013 foi obtida na primavera, assim como a de 2009. Ao se observar o período de 2009 e 2013 (Figura 3), constata-se que a base das dunas frontais apresentou menor variação em relação ao período anterior de análise, em algumas áreas observa-se erosão e acresção, predominando valores acrescivos. Houve acresção de 10180 m² e erosão de 8064 m², sendo o deslocamento médio da base das dunas frontais de 1,21 m. Neste período, as maiores taxas de erosão ocorreram junto ao sangradouro situado na orla central do balneário, o qual no período anterior havia tido a maior taxa acresciva. No caso, houve erosão (retirada) dos depósitos eólicos que estavam evidentes na imagem anterior. No mais, houve erosão a nordeste da área de estudo e alguma recuperação da duna

frontal junto aos molhes, situação inversa ao período anterior analisado.

Neste período entre 2009 e 2013, as variações encontradas no limite do reverso do campo de dunas em relação à retroterra apresentaram, assim como no período anterior, maior avanço do campo de dunas em direção à área edificada do balneário do que recuo. Houve avanço de 12835 m² e recuo de 7138 m², demonstrando um deslocamento do campo de dunas (transgressão) de 3,34 m. O maior avanço dunar em direção a retroterra se concentra principalmente na porção do balneário mais próxima aos molhes da desembocadura do Arroio Chuí, sudoeste da área, enquanto na porção nordeste, há maior estabilidade.

Figura 4. Variação na base das dunas frontais entre 2013 e 2016 e variação do limite do reverso do campo de dunas entre 2013 e 2016, sobre a imagem de 2016.

No período compreendido entre 2013 e 2016 (Figura 4), ocorreu a maior taxa de erosão na base das dunas frontais entre todos os períodos analisados. Essa erosão é observada por pelo menos 94% da área analisada. Houve erosão significativa de 28143 m² e acresção de apenas 2028 m², apresentando um deslocamento médio de -15,01 m. Destaca-se a erosão na porção norte da área de estudo. A imagem de outubro de 2016 ocorreu logo após o provável maior evento de alta energia de onda dos últimos 40 anos na costa oceânica do Rio Grande do Sul, ocasionado por um forte ciclone extratropical, que gerou ondas de mais de 5 m próximas à costa (Oliveira et al. 2019). Segundo estes autores, nesse evento extremo observou-se retração (erosão) em média de 9 m das dunas frontais na localidade praia das Maravilhas situada apenas 3 km a norte da Barra do Chuí.

Quanto às variações encontradas no limite do reverso do campo de dunas em relação à retroterra, o período de 2013 e 2016, obteve-se maior estabilidade em termos quantitativos. Este foi o único período em que os valores de recuo foram maiores que os valores de avanço do limite do reverso do campo de dunas, mesmo que essa diferença seja extremamente pequena. Foi medido o valor de 6453 m² de recuo das dunas em relação ao valor de 6396 m² de avanço dunar, apresentando um deslocamento médio de apenas 0,03 m, o que reflete estabilidade. No entanto, há tendência de avanço dunar em relação à área edificada na porção mais a sudoeste entre o sangradouro central e a desembocadura do Arroio Chuí. O recuo das dunas na porção mais a nordeste do balneário, observada nos períodos anteriores, se manteve.

Varição da Base das Dunas Frontais e do Reverso das Dunas entre 2016 e 2018

Figura 5. Variação na base das dunas frontais entre 2016 e 2018 e variação do limite do reverso do campo de dunas entre 2016 e 2018, sobre a imagem de 2018.

Ao se analisar o período mais recente, entre 2016 e 2018 (Figura 5), observa-se que após o período analisado entre 2013 e 2016, que foi erosivo, o balneário apresentou recomposição das dunas frontais. Os resultados indicam ganho de 16772 m², em relação a valores erosivos de 2530 m², apresentando um deslocamento médio positivo de 8,18 m. Tem-se então, que de maneira natural o balneário passou por reconstituição de sua duna frontal, principalmente quanto à porção mais a sudoeste entre o sangradouro central e a desembocadura do Arroio Chuí. No entanto, vale ressaltar que, na porção a nordeste do sangradouro central, e consequentemente do balneário, observa-se que praticamente não houve reconstituição da duna frontal, ao contrário, em sua maioria houve pequena erosão.

Quando se observa este em relação ao limite do reverso do campo de dunas em direção à retroterra, ele volta a apresentar maior avanço do campo de dunas em direção à área edificada do balneário. Houve avanço de 7443 m² e recuo de 5672 m², apresentando variação média do campo de dunas de 1,04 m (transgressão dunar). Nota-se

que houve retração das dunas em relação ao período anterior próximo ao sangradouro localizado no centro do balneário. Já os valores de avanço dunar apresentaram-se na porção sudoeste do balneário, mais próximo a atual desembocadura do Arroio Chuí. Em contrapartida, diferente dos demais períodos analisados, neste também foram encontrados valores de avanço dunar na porção nordeste do balneário.

Subsídios para gestão das dunas

A Figura 6 demonstra uma síntese dos resultados apresentados acima, com a variação encontrada tanto para a posição da base das dunas frontais, quanto para o limite do reverso do campo de dunas durante o período de 13 anos analisado (2005-2018). Já a Figura 7 identifica as ocupações situadas mais próximas à praia, e o crescimento urbano dentro do limite de 300 m a partir do termo de ajuste de conduta assinado em 2005.

Variação da Base das Dunas Frontais e do Reverso das Dunas entre 2005 e 2018

Figura 6. Variação na base das dunas frontais entre 2005 e 2018 Variação do limite do reverso do campo de dunas entre 2005 e 2018, sobre a imagem de 2018.

No período de 13 anos entre 2005 e 2018 (Figura 6) predominaram valores erosivos para base das dunas frontais. Encontrou-se erosão de 18705 m² em relação à acreção de 12959 m², apresentando deslocamento médio de -3,30 m. A linha da base das dunas frontais se deslocou em direção a retroterra, de modo que a mesma apresentou variações ao longo da área de estudo e variações temporais, como identificado anteriormente.

Houve maior taxa de erosão nas porções mais a sudoeste, perto dos molhes, e a nordeste, localidade de Alvorada, predominou erosão ao longo da costa. As taxas de acreção se destacaram principalmente entre 2005 e 2009 na porção central do balneário e pode ser relacionada a deposição eólica na base das dunas frontais (limite superior da praia) entre esses anos, a qual vem se mantendo relativamente estável em todo o período analisado.

Já quando se observa o limite reverso das dunas no período de 2005 e 2018, constata-se que entre esses 13 anos predominaram valores de avanço do campo de dunas em relação à retroterra. Em todo o período analisado houve avanço de 27938 m² em relação ao recuo dunar de 14393 m², apresentando um deslocamento médio, transgressivo, de 7,93 m, com a linha do limite do campo de dunas se deslocando em direção a área urbanizada.

Observa-se na Figura 6 que as maiores taxas de avanço dunar estão localizadas na porção sudoeste do balneário, porção urbana mais antiga, como também em alguns locais na porção nordeste, na localidade de Alvorada. Já as taxas de recuo apresentam-se mais próximas ao sangradouro central do balneário e na porção mais a norte após a estátua de Iemanjá na localidade de Alvorada, provavelmente fruto da expansão urbana e vegetação exótica.

Variação da Base das Dunas Frontais e do Reverso das Dunas entre 2005 e 2009

Figura 7. Ocupação do solo através das variações da área edificada do balneário dentro da faixa de 300 metros a contar da linha de preamar máxima, entre os anos de 2005 e 2018, sobre a imagem de 2018.

A Figura 7 demonstra, a partir da vetorização das ocupações presentes na faixa de 300 m a contar da linha de preamar máxima nas imagens de 2005 e 2018, que houve crescimento urbano na orla do Balneário Barra do Chuí, passando de 211 moradias aproximadamente no ano de 2005 para 303 moradias aproximadamente no ano de 2018. A nordeste da área, a urbanização é mais próxima da praia, sendo mais vulnerável à ação marinha. Essa porção nordeste da área de estudo, denominada de Alvorada, é segundo Silva (2017), desde meados de 1964, ocupada por uruguaiois que foram construindo suas residências sobre áreas de vegetação nativa e das dunas costeiras.

Essas dunas apresentam-se mais próximas da praia em relação a parte antiga do balneário e num local onde as dunas também estão transgredindo, mesmo que em proporções menores que na porção mais antiga, a sudoeste da área. Já na porção antiga do balneário, sudoeste da área de estudo, houve estabilidade do crescimento urbano no período analisado, sendo identificadas apenas duas novas edificações. Esta ocupação mais antiga é composta sobretudo de brasileiros oriundos principalmente de Santa Vitória do Palmar, dada pelo vetor chamado de segundas residências, ou

casas de veraneio, que se caracterizou como um fenômeno numericamente expressivo da urbanização litorânea a partir da metade do século passado (Moraes, 2007). Devido ao próprio traçado das escarpas da barreira pleistocênica sobre as quais as edificações estão dispostas, esta área urbana apresenta maior distância com o limite superior de praia, sendo o campo de dunas ativo mais largo. No entanto, se observou significativo avanço do reverso do campo de dunas sobre as escarpas da barreira pleistocênica e porção urbana.

Pode-se observar, portanto, que o Governo Municipal de Santa Vitória do Palmar não conseguiu cumprir o que foi assinado no Termo de Ajuste de Conduta (TAC) no ano de 2005 com o Ministério Público Federal no Balneário Barra do Chuí. Pode-se constatar, ainda, que nesse período não houve resguardo na ocupação da orla, como o município se comprometeu com o Ministério Público Federal no ano de 2005. Houve um aumento da quantidade de edificações, sobretudo na localidade de Alvorada, que fica separada da porção mais antiga do balneário por um sangradouro que nasce a oeste do balneário e deságua a leste no arroio Chuí (Figura 7). Na localidade de Alvorada ocorreram mais de 95% das novas construções, quase que dobrando o número de

residências no segmento mais próximo ao mar (MPF, 2005).

Já no ano de 2009 foi implantado o Plano de Manejo de Dunas. Na implantação do plano o município em primeiro lugar, fez a identificação e o levantamento dos temas e ações a serem propostos, visto que o maior problema do município com relação ao Balneário Barra do Chuí residia nos problemas de expansão urbana desordenada. No entanto, a partir do ano de 2009 em que foi elaborado e entregue à Prefeitura, o Plano aguardou por sua Adoção formal, que só acontece depois de ser licenciado pelo órgão estadual licenciador a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

(FEPAM). Infelizmente, mesmo frente às questões emergenciais como as apontadas no texto, o plano de manejo tramita em ritmo lento. Assim com a falta de aprovação e implementação do plano o município aplica algumas medidas de ação emergencial de maneira pontual, situação vista no decreto nº 005, de 2018 emitido pelo prefeito Municipal (Santa Vitória do Palmar, 2018a).

A Figura 7 demonstra algumas fotografias obtidas durante trabalhos de campo, possibilitando a visualização de questões levantadas ao longo do presente estudo. Está vinculado ao processo de movimentação eólica, processos erosivos e uso da faixa de praia no balneário da Barra do Chuí.

Figura 7. A) Soterramento de residência pela ação eólica na localidade do Alvorada. B) Avanço do reverso do campo de dunas ativo sobre as escarpas da barreira pleistocênica, porção mais antiga do balneário. C) Trilhas de pneus demonstrando o movimento de veículos *off-road* sobre o campo de dunas. D) Ocupações irregulares no sistema de dunas do Balneário Barra do Chuí, à beira da escarpa pleistocênica junto a faixa de praia. E) Escarpa pleistocênica próxima ao sangradouro central que divide a porção antiga do balneário da localidade do Alvorada. F) Carros estacionados na faixa de praia durante o período do veraneio no balneário.

A Figura 8 possibilita elucidar algumas questões que tangem a gestão da referida orla. A (Figura 8A) apresenta o soterramento de uma residência pela ação eólica, ocasionada pela transgressão dunar sobre um segmento em expansão urbana junto ao mar, o que deveria ter sido inibido pelo TAC. Também se identificou que na área mais antiga do balneário, onde a ocupação é mais afastada da praia, também ocorre a transgressão dunar (Figura 8B). Nesta área, principalmente nos períodos de baixa temporada, há um grande movimento de veículos *off-road*

sobre as dunas, fato relatado pelos próprios moradores locais e observado em campo (Figura 8C). Fora do período de veraneio quase que não há movimentação turística aliada ao pouco movimento fiscalizatório. Este impacto pode ter, juntamente com a própria transgressão da costa, uma grande influência nas altas taxas de deslocamento do reverso do campo de dunas ativas medido.

Em relação a transgressão da costa, esta pode afetar diretamente em um futuro próximo as residências frontais da área edificada do balneário,

fato já prestes a iniciar, sobretudo na porção nordeste do balneário (Figura 8D). Parte das escarpas pleistocênicas, sobre onde ficam as edificações, estão sendo erodidas pelo mar e também pela ação pluvial e fluvial (Figura 8E). O próprio processo erosivo da costa promove o deslocamento das dunas para a retroterra.

Além disso, ocorrem os carros na praia (Figura 8F), aspecto inserido na cultura de praia local, que acaba sendo mais um aspecto que subtrai a qualidade ambiental da orla do Balneário Barra do Chuí, influenciando no transporte de sedimentos na praia e nas dunas.

Por fim, no município de Santa Vitória do Palmar, local sede do balneário em questão, existe um Conselho Municipal do Meio Ambiente ao qual segundo o decreto nº 138 de 2018, competem a este conselho o controle e proteção ambiental municipal (Santa Vitória do Palmar, 2018b). Fica, também, encarregado de gerir o fundo municipal do Meio Ambiente criado em 2007 através do decreto 3.996 de 2007 (Santa Vitória do Palmar, 2007). Porém, este não é um conselho permanente, pois é alterado a cada 4 anos após a eleição, portanto ficando atrelado as alterações de governo. Outro fator preocupante é que no município não existe, atualmente, uma secretária do meio ambiente, onde esta pasta está limitada ao departamento da Secretária de Planejamento e Orçamento da Prefeitura Municipal. Essa situação pode influenciar na geração dos impactos identificados sobre áreas que deveriam ser naturalmente protegidas no balneário, visto que a fiscalização feita nele acaba sendo menor que o necessário.

Conclusão

O Balneário Barra do Chuí apresentou, entre os anos de 2005 e 2018, comportamento com tendência erosiva na base das dunas frontais. Embora taxas de acresção tenham sido encontradas na porção central do balneário, onde houve uma recuperação do campo de dunas junto ao maior sangradouro da área de estudo, nas demais áreas, principalmente na porção norte do balneário, houve predomínio da erosão. O evento de alta energia de onda de outubro de 2016 foi responsável pela erosão generalizada da costa na área de estudo, influenciando os resultados do trabalho.

O limite do reverso dunar no mesmo período apresentou tendência de avanço em relação à retroterra, onde fica a área urbanizada. Foi observado que este avanço se apresenta principalmente na porção norte e central do balneário, pois é o local onde a maior mobilidade

do campo de dunas ativo em direção a área edificada do balneário. Pôde-se observar também que o avanço dunar em direção da retroterra possui taxas maiores que a da variação da base das dunas frontais, ocasionando já em alguns lugares o total soterramento de edificações.

Com relação a área urbana edificada do balneário, se observa no período de análise aumento do número de residências, principalmente na porção mais a nordeste da área de estudo, na localidade do Alvorada, onde quase dobrou o número de residências na faixa mais próxima do mar no período analisado. Este local é urbanizado mais próximo ao mar, que, dado o processo erosivo da costa, somada a transgressão dunar, o deixa mais vulnerável aos processos costeiros atuantes. Já na porção a sudoeste da área, a urbanização se mantém estável. Contudo, o avanço do mar e sobretudo a transgressão eólica, que pode ter influência de abertura de trilhas e pisoteio, vêm aumentando o deslocamento de sedimentos eólicos sobre áreas edificadas. Assim, podemos observar que o Balneário Barra do Chuí possui vulnerabilidade principalmente associada a erosão costeira, em especial na localidade do Alvorada, como também vulnerabilidade no avanço do campo de dunas ativo sobre a área urbana em todo balneário.

Por fim vale destacar o papel dos órgãos gestores do balneário, de escala Federal, Estadual e Municipal. Observou-se que é necessário um maior aporte técnico e de gestão, a fim de que, no futuro próximo, seja implantado um plano de manejo costeiro adequado para o local, como também atividades de educação ambiental para a população no sentido de alertar para o que vem ocorrendo com as dunas no balneário.

Agradecimentos

Agradecemos em especial à Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGeo-FURG) pela infraestrutura para que fosse possível a realização deste trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Código de Financiamento 001, pela bolsa de estudo ao primeiro autor.

Referências

Albuquerque, M.G., 2013. Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS. 112 f. Porto Alegre. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências,

- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Albuquerque, M.G., Leal Alves, D.C., Espinoza, J.M.A., Oliveira, U.R., Simões, R.S., 2018. Determining shoreline response to meteorological events using remote sensing and unmanned aerial vehicle (UAV): case study in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 85, 766-770.
- Bagnold, R.A., 1941. The physics of blown sand and desert dunes. London, Chapman and Hall, 265 p.
- Boak, E.H., Turner, E.L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal Of Coastal Research*, Sydney 21, 688-703.
- Buchmann, F.S.C., Caron, F., Lopes, R.P., Ugri, A., Lima, L.G. Panorama geológico da planície costeira do rio grande do sul. In: Ribeiro A.M., Bauermann S.G., Scherer, C.S. (Orgs.) 2009. Quaternário do Rio Grande do Sul – Integrando Conhecimentos, Monografias da Sociedade Brasileira de Paleontologia 1, 35-56.
- Caron, F., 2007. Depósitos sedimentares associados à desembocadura do Arroio Chuí (PCRS) e suas relações com as variações do nível do mar durante o Holoceno. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Dillenburg, S.R., Tomazelli, L.J., Martins, L.R., Barboza, E.G., 2005. Modificações de longo período da linha de costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. Gravel [online] 3. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/gravel/3/Gravel_3_02.pdf>. Acesso: 23 out. 2019.
- Hesp, P.A., Thom, B.G., 1990. Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N.P., Carter, B. (eds.) *Coastal Dunes: Form and Process*. London, John Wiley, 253-288.
- Hesp, P.A., 2002. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology* 48, 245-268.
- Hoefel, F.G., 1998. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. Itajaí: Editora da Univali, 90 p.
- Leal, K.B., 2016. Análise da Variação da Linha de Costa nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS a partir de geotecnologias. 90 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande.
- Leal, K.B., Bonetti, J., Pereira, P.S., 2020. Influência da orientação de praia na retração da linha de costa induzida por marés de tempestade: Armação e Canasvieiras, Ilha de Santa Catarina – SC. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 1730-1753.
- Leal, K.B., Oliveira, U.R., Espinoza, J.A., 2018. Variação do limite praia duna nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS no intervalo entre 2003-2015. *Quaternary and Environmental Geosciences* 1, 25-37.
- Lélis, R.J.F., 2003. Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul. Rio Grande. 79 f. Monografia (Graduação em Oceanologia) – Instituto de Oceanologia, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande.
- Mazzer, A.M., Dillenburg, S.R., 2009. Variações Temporais da Linha de Costa em Praias Arenosas Dominadas Por ondas do Sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). *Pesquisas em Geociências* 36, 117-135. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/3601/10-3601.pdf>>. Acessado em: 10 jan. 2016.
- Moller, B. A. 2014. Análise da distância da orla urbana dos balneários Cassino, Hermenegildo e Barra do Chuí - RS, em relação à linha de preamar marinha. 68 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande.
- Moraes, A. C. R. 2007. Geografia Pequena História Crítica. São Paulo: Annablume.
- MPF. Ministério Público Federal, 2005. TAC, Termo de Ajuste de Conduta de 14 de junho de 2005.
- Muehe, D., 2003. Geomorfologia costeira. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 253-308.
- MVOTMA. Ministério de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, 2013. Informe del estado del ambiente en Uruguay. Montevideo.
- Nobre, C.A., Cavalcanti, M. A. G., Nobre, P., Kayano, M. T., Bonatti, J. P., Satyamurti, P., Uvo, C. B., Cohen, J. C., 1986. Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. *Climanálise*, Número Especial.
- Nordstrom, K.F., 2010. Recuperação de praias e dunas. Tradução - Silvia Helena Gonçalves. Oficina de Textos, São Paulo. 263 p.
- Oliveira, U.R., Simões, R.S., Calliari, L.J., Gautério, B.C., 2018. Erosão de dunas sob ação

- de um evento extremo de alta energia de ondas na costa central e sul do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 1, 137-158.
- Oliveira U.R., Simões R.S., Calliari L.J., Gautério B.C., 2019. Erosão de dunas sob ação de um evento extremo de alta energia de ondas na costa central e Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 20, 137-158.
- Romeu, M.A.R., Fontoura, J.A.S., Melo, E., Hammes, G., 2010. Estimativa dos cenários característicos de agitação marítima para a região oceânica do RS utilizando dados de reanálise do modelo WW3. *Anais 4º Seminário e Workshop em engenharia Oceânica*. Rio Grande. 14 p.
- Santa Vitória do Palmar. Decreto Municipal nº 3.996, de 26 de julho de 2007. Institui o Fundo Municipal do Meio Ambiente e estabelece a Estrutura do Departamento de Meio Ambiente do Município de Santa Vitória do Palmar.
- Santa Vitória do Palmar. Decreto Municipal nº 005 2018a. Ação emergencial no Balneário Barra do Chuí.
- Santa Vitória do Palmar. Decreto Municipal nº 138 2018b. Regimento interno do Conselho Municipal do Meio Ambiente do Município de Santa Vitória do Palmar.
- Silva, C., 2017. Análise da evolução da ocupação urbana na faixa oceânica do município de Santa Vitória do Palmar/RS: Balneários do Hermenegildo e da Barra do Chuí. 64 f.
- Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Short, A.D.B., 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Chichester, 1-20.
- Smith, M.J., Cromley, R.G., 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions in GIS* 16, 15.
- Souza, C.R.G., Filho, P.W.M.S., Esteves, L.S., Vital, H., Dillenburg, S.R., 2005. In: Patchineelam, S.M., Addad, J.E., *Praias Arenosas e Erosão Costeira*. Quaternário do Brasil. Holos Editora, Ribeirão Preto, 130-152.
- Tessler, M.G., Goya, S.C., 2005. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia* 17, 11-23.
- Tomazelli, L.J. Dillenburg, S.R. Villwock, J.A., 2009. Sistemas Depositionais e Evolução geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Uma Síntese. *UFRGS*, 328-339.
- Vasconcelos, F.P., 2005. *Gestão Integrada da zona costeira: ocupação antrópica desordenada, erosão, assoreamento e poluição ambiental do litoral*. Fortaleza: Premius.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R., Bachi, F.A.; Dehnhardt, B.A., 1996. A Transgressão Marinha Atual na Costa do Rio Grande do Sul. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 39. Salvador. *Anais do 39 Congresso Brasileiro de Geologia* 5, 296-299.