

Influência de sangradouros na sensibilidade ao óleo das praias arenosas do Rio Grande do Sul

Influence of washouts on the oil spill sensitivity of sandy beaches in Rio Grande do Sul

Elaine Baroni Oliveira^{ab}, Joao Luiz Nicolodi^{ac}

^aUniversidade Federal do Rio Grande/FURG

^belaine.bo@hotmail.com, ^cjoaoluiznicolodi@gmail.com

Resumo

No Brasil, a Lei 9.966/00 atribuiu ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) a responsabilidade na identificação, localização e definição dos limites de áreas ecologicamente sensíveis com relação à poluição causada por derramamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional. Tal definição se dá pela aplicação do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). O ISL é um índice que classifica a sensibilidade da costa ao óleo baseado nas características geomorfológicas do litoral, mas, para costas arenosas como a do Rio Grande do Sul (RS), este índice não é totalmente eficaz, já que a classificação não leva em conta alguns parâmetros locais importantes, como por exemplo, os sangradouros existentes ao longo do litoral. Este trabalho determina a influência do sangradouro na sensibilidade ao óleo com a posterior inserção desta variável no ISL. A metodologia envolveu a digitalização e validação da posição dos sangradouros e ambientes, a criação do mapa de inundação e, por fim, a hierarquização dos trechos mais sensíveis. Os resultados mostraram que durante elevações do nível do mar, áreas naturais com a presença de sangradouros sofreram inundação de até 300 metros. Dentro desta área são encontrados diferentes ambientes, que segundo o ISL, são mais sensíveis. Durante um derramamento de óleo, estes ambientes estariam expostos não só à ação do mar, mas também ao óleo derramado. Os trechos onde estas condições ocorrem (alta densidade de sangradouros associados e presença de ambientes sensíveis), foram considerados de prioridade de proteção e demarcados na Carta SAO através da sobreposição de um ícone de sangradouro no mapa. Conclui-se que se os sangradouros fossem considerados como uma variável na definição de sensibilidade, o mapeamento de ISL das bacias sedimentares do sul do país seriam qualificados, tornando seus resultados mais realísticos.

Palavras-chave: Sangradouros; ISL; LIDAR; Praias Arenosas

Abstract

The responsibility in identifying, locating and setting limits for ecologically sensitive areas related to pollution from oil spill pollution and other dangerous substances in national waters is attributed to Ministério do Meio Ambiente (MMA) according the Law 9966/00, Brazil. This definition occurs by the application of the Environmental Sensitivity Index (ESI). The ESI (Environmental Sensitivity Index) is an index that ranks the sensitivity of a coast to oil based on the geomorphodynamics characteristics of the coast. However, for sandy shores, such as the RS (Rio Grande do Sul), the ESI is not fully effective because the classification does not take into account some important local parameters, such as, the washouts existing in RS coast. This study determines the influence of washouts on a coast's sensitivity to oil by including this information in the ESI. The methodology involved scanning and validating the locations of washouts and environments, creating flood maps and identifying the most sensitive areas. The results showed that during high sea levels, natural areas with washouts were inundated over a distance of 300 meters. Various sensitive environments are found in these areas. During an oil spill, these environments are exposed not only to the sea but also to oil. The sections where this conditions occurs (high washout densities and sensitive environments) were considered priority protection areas and demarcated in ESI maps by overlapping a washout icon on the map. The conclusion is that if washouts were considered a variable in sensitivity definition, the ESI mapping of sedimentary basins in the south of Brazil would be qualified, turning the results more realistic.

Keywords: Washouts; Environmental Sensitivity Index; LIDAR; Sandy beaches

1. Introdução

Os sangradouros são caracterizados como feições naturais que ocorrem ao longo da costa do Rio Grande do

Sul. Estes cursos d' água dão escoamento às águas pluviais acumuladas nas depressões e banhados localizados entre cordões litorâneos, e em locais de relevo

inexpressivo atrás das dunas frontais (Pereira da Silva 1998). São ambientes de nível energético relativamente baixo uma vez que estão protegidos da ação direta das ondas (Serpa 2008).

Os sangradouros são típicos de praias arenosas, possuem profundidades rasas e desenvolvem-se preferencialmente em praias de características intermediárias e dissipativas, (micro maré com baixa declividade), geralmente dominadas por ondas e ventos, cuja morfologia da região de pós-dunas apresenta tendência a acumular e reter mananciais hídricos (Serpa 2008).

Sua conexão permanente ou temporária com o mar faz-se através de um canal de ligação ou escoamento das águas acumuladas na região protegida pelas dunas frontais. Tais canais de ligação rompem a barreira e o cordão de dunas frontais, exercendo papel na troca de material entre o mar e a zona costeira, o que lhes diferencia sob o ponto de vista geomorfológico e ambiental de pequenos corpos d'água costeiros (Serpa 2008).

Os sangradouros são classificados por Pereira da Silva (1998) em três grupos: permanentes, intermitentes e efêmeros, classificados de acordo com a distribuição espacial, abastecimento de água e o comportamento sazonal dos arroios. Os sangradouros permanentes mantêm sua configuração durante todo o ano, independente do volume de chuvas; os intermitentes possuem uma formação temporária dependente da variação do lençol freático, que é diretamente proporcional à estação do ano, e os efêmeros apresentam formação apenas ao ocorrer um volume de chuvas acima da média para o determinado local, sendo necessário dar vazão a este aumento pluviométrico abrupto. Todavia estes desaparecem após executada sua função.

Os sangradouros ainda podem ser classificados de acordo com sua forma em meandantes, retilíneos ou anastomosados. Os meandantes apresentam meandros durante sua extensão; os retilíneos são caracterizados pelo desenho na face de praia o mais reto possível, tornando-se mais presentes no ambiente praiado após grande volume pluviométrico e os anastomosados apresentam barras arenosas ao longo do leito que obstruem parcialmente o fluxo de água (Pereira da Silva 1998).

Quanto aos padrões morfológicos, Figueiredo & Calliari (2006) verificaram que em áreas não urbanizadas (naturais), os sangradouros apresentam maior porte, sendo constituídos na grande maioria por cursos meandantes intermitentes, com maiores extensão e profundidade. A alta densidade de sangradouros nestas regiões deve-se à configuração da costa e à orientação dos campos de dunas existentes. Em áreas urbanizadas, por sua vez, a pavimentação das ruas provoca a impermeabilização do solo, aumentando a concentração destes corpos d'água. Nestes locais, os sangradouros são retilíneos, curtos, rasos e intermitentes (Calliari *et al.* 2010). Sangradouros de grande porte também podem ocorrer durante períodos de alta pluviosidade, quando algumas lagoas de bolso transbordam gerando canais com dimensões que podem

alcançar 300 m de largura devido a sua grande potência hidráulica (Figueiredo & Calliari 2006).

A principal influência do sangradouro na morfodinâmica praiada está relacionada à segmentação e desestabilização do cordão de dunas frontais, provocada pela erosão das dunas pelo curso do canal (Figueiredo & Calliari 2006, Figueiredo *et al.* 2007, Serpa 2008, Calliari *et al.* 2010, Portz *et al.* 2010, Maia 2011). A segmentação do cordão de dunas remove a barreira natural que as mesmas conferem contra inundações, tornando os ambientes adjacentes vulneráveis à ação do mar. Segundo Benavente *et al.* (2006), a presença de dunas frontais bem desenvolvidas pode ser suficiente para a proteção efetiva contra a elevação do mar durante marés meteorológicas. Porém, a inundação pode ser intensificada em áreas onde as dunas frontais foram seriamente danificadas pela migração lateral dos canais de maré ou pela formação de sangradouros. Ainda segundo Portz *et al.* (2010), quanto maior a segmentação do cordão de dunas frontais, maior será a intrusão de ondas de tempestade para o interior do sistema.

Serpa (2013) afirma que, quando a erosão das dunas pelo sangradouro é muito intensa (conforme figura 1), o cordão de dunas dessa área não mais se restitui ao longo dos meses mais secos, constituindo assim uma área permanentemente sensível a alagamentos.

Outros autores como Turner *et al.* (1997), Figueiredo *et al.* (2007), Serpa (2008), Goulart & Cozza (2010) e Maia (2011) afirmam que ocorre inversão no fluxo do sangradouro, do oceano para o continente, durante elevação do nível relativo do mar causada por marés meteorológicas. Esta inversão está relacionada ao empilhamento de água na costa provocada pelo aumento do *set up* e *run up* das ondas. Ainda segundo Calliari *et al.* (2010), em áreas urbanizadas essa inversão no fluxo leva a enchentes relâmpagos em áreas mais baixas.

Maia (2011) verificou uma maior intrusão da água do mar em situações de marés meteorológicas para as áreas junto às desembocaduras dos sangradouros, uma vez que estas áreas possuem cotas altimétricas menores que as adjacentes e assim são mais susceptíveis à inundação. Maia (2011) ao avaliar os riscos de inundação costeira associados à passagem de ciclones para o Balneário Hermenegildo no Rio Grande do Sul, verificou que, áreas sujeitas a sangradouros podem ter até cinco quadras inundadas, o equivalente a 500 metros.

Percebe-se que elevações superiores no nível do mar evidenciam o papel dos sangradouros como principal via de acesso da água do mar ao continente (Maia 2011).

Este acesso pode ser um agravante durante um derramamento de óleo já que o sangradouro pode transportar o óleo contaminado para regiões interiores, dificultando o processo de limpeza, aumentando a área contaminada e amplificando os impactos ambientais. Apesar de ser um fator potencializador dos impactos no caso de derrame de petróleo, os sangradouros não estão incluídos nos atuais métodos de definição de sensibilidade ao óleo de uma área, os quais são responsáveis por direcionar a contenção e limpeza após um acidente.



Figura 1: Duna frontal escarpada por sangradouro. Fonte: autores.

A definição da sensibilidade ao óleo é realizada através da Carta de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo – Cartas SAO. As Cartas SAO constituem-se em um conjunto de mapas que exibem a sensibilidade da costa ao óleo e os recursos biológicos e socioeconômicos disponíveis em uma área, a fim de direcionar os esforços de contenção e limpeza e priorizar as regiões de maior sensibilidade (MMA 2007). O principal constituinte da Carta SAO é o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). O ISL é um índice que hierarquiza os ambientes costeiros em relação à sensibilidade relativa a derrames de óleos, potencial de prejuízo ecológico e facilidade de limpeza, em uma escala de 1 a 10, em ordem crescente de sensibilidade. Esta classificação é baseada nas características geomorfológicas do litoral, segundo o grau de exposição da costa à energia de ondas e marés, declividade do litoral e tipo de substrato (MMA 2007).

Entretanto, alguns autores, como Pereira (2005), Cardoso (2006), Castanedo *et al.* (2009), Vasconcelos *et al.* (2010), Marinho (2013, 2015), Martins (2013), Marques & Nicolodi (2014) e Wally (2015) discutem a eficácia do ISL, pois, por ser uma metodologia padrão (MMA 2007), todos os ambientes costeiros devem ser enquadrados dentro deste índice e como ele é restrito a algumas características, grandes áreas podem ser classificadas com a mesma sensibilidade mesmo possuindo características únicas, como uma espécie endêmica ou a ausência de um cordão de dunas frontais estabilizado, que as tornam mais sensíveis ao óleo e,

portanto, prioritárias de proteção. Um exemplo é a região costeira do Rio Grande do Sul (RS) que através de mapeamentos de sensibilidade realizados por Freire (2006) e Oliveira (2006) e atualizados pelo projeto Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia Marítima de Pelotas (Nicolodi 2015) foi classificada com valores entre 3 e 4 para os 630 km de litoral, conforme figura 2. A classificação de longos trechos de costa com o mesmo valor de sensibilidade dificulta o direcionamento da resposta durante acidentes, já que áreas prioritárias de proteção não se encontram destacadas.

Caso os sangradouros, feições abundantes na região e possíveis potencializadores da sensibilidade ao óleo, fossem considerados na elaboração do índice, a definição de áreas prioritárias para a região costeira do Rio Grande do Sul seria mais realística.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo determinar a influência de sangradouros na sensibilidade ao óleo de praias arenosas do RS com a posterior inserção desta variável no ISL.

2. Materiais e métodos

2.1. Descrição da área

A área de estudo (figura 3) compreende um trecho de aproximadamente 160 km, localizado entre Tramandaí e Mostardas no RS, posicionado entre as coordenadas 31°12'48.60"S, 50°52'06.44"O e 29°58'36.36"S, 50°07'10.94"O.

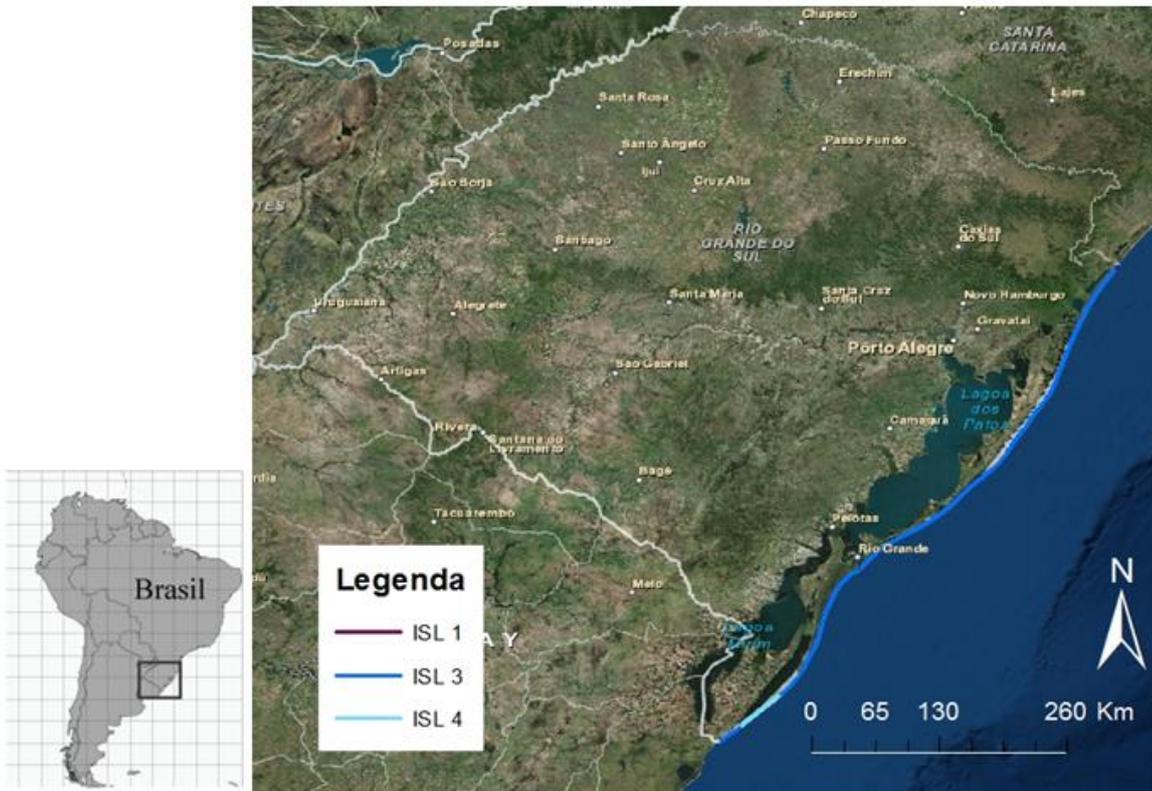


Figura 2: Índice de Sensibilidade do Litoral para a costa do RS. Fonte ISL: Oliveira (2006), Freire (2006). Fonte imagem: GoogleEarth Os valores de ISL, segundo MMA (2007) incluem: ISL 1 – costões rochosos, lisos de alta declividade e expostos; ISL 3 – praias de areia dissipativas de areia média a fina expostas; ISL 4 – praias de areia grossa, praias intermediárias de areia fina a média expostas ou abrigadas.

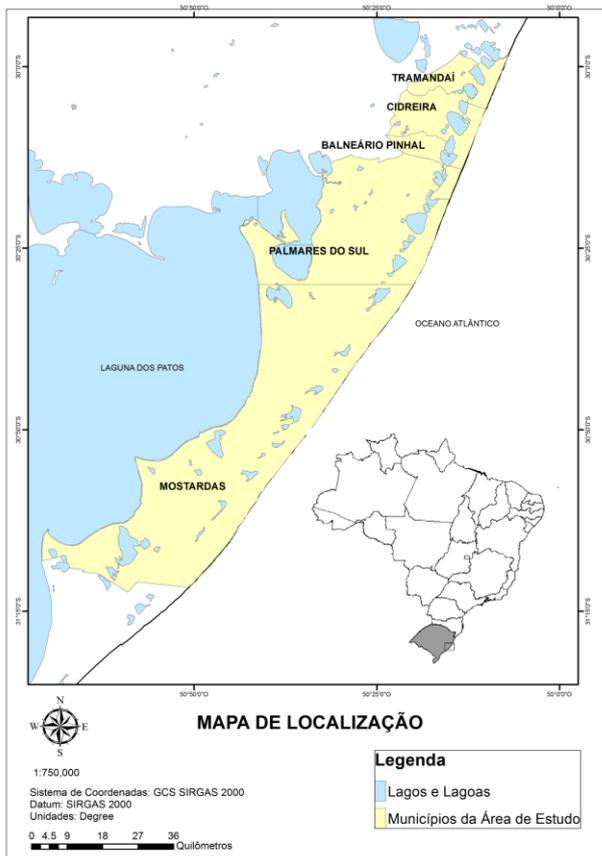


Figura 3: Área de Estudo localizada entre Tramandaí e Mostardas no Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 31°12'48.60"S, 50°52'06.44"O e 29°58'36.36"S, 50°07'10.94"O

De acordo com Tomazelli & Villwock (1992), o litoral do Rio Grande do Sul pode ser classificado como uma costa retilínea, com orientação nordeste-sudoeste, exposta à ação de ondas de energia média à elevada e altura significativa de onda de 1.5 m. Segundo os autores, as praias do RS são compostas por areia fina, quartzosa, bem selecionada e com assimetria levemente negativa.

Calliari & Klein (1993) e Toldo Jr *et al.* (1993) classificaram as praias do RS como intermediárias a dissipativas de acordo com as sequências morfodinâmicas descritas por Wriath & Short (1984). Superimposto nesse padrão de comportamento morfodinâmico, é observado a existência de uma diferenciação bisazonal, com o predomínio de um perfil de acreção entre os meses de novembro a março e um perfil de erosão, entre abril e outubro.

A maré astronômica ao longo da costa do RS é insignificante, sendo a média diária anual de 0,47 m. A maré é predominantemente semi-diurna (Garcia 1997). Porém, elevações na ordem de 1,5 m acima da maré prevista já foram observadas por Calliari *et al.* (1998) e Saraiva *et al.* (2003) durante eventos de maré meteorológica.

Parise *et al.* (2009) monitorando 23 eventos de marés meteorológicas entre junho de 2006 e julho de 2007, encontraram maior frequência de eventos no outono e inverno, com 35% de predominância em cada estação, seguido pela primavera (17%) e verão (13%). Todos os eventos monitorados pelos autores estavam associados com ciclones extratropicais.

O vento predominante é o de nordeste, porém o regime eólico apresenta uma variação estacional bem mais acentuada que a ondulação. Os ventos dos três setores de N-NE, NE e de E-NE são mais frequentes e intensos de setembro a abril e mais raros e fracos de maio a agosto. Por sua vez, os ventos de S e W são atuantes, sobretudo, de maio a outubro sendo raros de novembro a abril (Motta 1969).

O trecho entre Mostardas e Quintão é caracterizado por dunas frontais bem desenvolvidas e pela presença de várias lagoas costeiras menores distantes 2,5 a 3 km da praia – que extravasam durante períodos de intensa pluviosidade, resultando no aumento do número de sangradouros (Calliari *et al.* 2010).

De acordo com Figueiredo & Calliari (2005), os sangradouros próximos ao Farol de Mostardas apresentam maior porte e são constituídos, na grande maioria, por cursos intermitentes, com maiores extensões e profundidades. A alta densidade de sangradouros nesta região deve-se a combinação da existência de áreas alagadiças na retaguarda das dunas frontais e a orientação do campo de dunas transversais. A região entre Quintão e Tramandaí possui intensa urbanização – o que reduz a área de infiltração e compacta o solo, aumentando também o número desses cursos d'água (Calliari *et al.* 2010).

2.2. Mapeamento dos sangradouros e ambientes

Os sangradouros e ambientes adjacentes a eles (áreas vegetadas, dunas, corpos d'água etc.) da área de estudo foram digitalizados através do aplicativo ArcMap, do software ArcGis, utilizando-se imagens do banco Bings Map Aerials do software. O sistema de coordenadas escolhido foi o WGS 84. A digitalização foi realizada em escala 1:3.000. Posteriormente, os sistemas de coordenadas geográficas de ambos os mapeamentos foram convertidos para SIRGAS 2000.

Foi realizada uma classificação supervisionada em ambiente SIG para a definição dos ambientes adjacentes à praia, sendo que a posição destes ambientes e a quantidade de sangradouros foram confirmadas através de levantamento bibliográfico e saída de campo.

2.3. Marés meteorológicas

Informações quanto ao histórico de elevações do nível do mar (altura de onda máxima) entre os anos de 1989 e 2007, foram extraídas de informações bibliográficas. A média de elevação foi calculada a partir do histórico de elevação do nível do mar obtido e sobreposta ao modelo digital de superfície para criação do mapa de inundação.

2.4. Mapa de inundação

O modelo digital de terreno utilizado foi obtido a partir de arquivos XYZ (projetados em UTM, referenciados ao sistema SIRGAS 2000 com altitudes elipsoidais) que

foram disponibilizados por Vianna (2013). Os dados brutos foram obtidos a partir de levantamento com sistema LIDAR efetuado em julho de 2010 no litoral norte do Rio Grande do Sul. O recobrimento LIDAR foi executado pela empresa LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento), sendo que os dados foram cedidos para pesquisa pela Secretaria do Patrimônio da União do Rio Grande do Sul (SPU-RS).

O recobrimento LIDAR ocorreu a partir de uma altura de voo de 1000 m, com um ângulo de abertura de 20° e densidade de 2 pontos por m² (Vianna 2013).

Os arquivos XYZ foram utilizados para criação de um Modelo Digital de Superfície (MDS) através de software de geoprocessamento. O software foi utilizado para gerar uma malha regular de pontos através de interpolação, sendo que o método krigagem foi o escolhido.

Os valores de elevação do nível do mar oriundos da bibliografia foram comparados com as cotas altimétricas do MDS, indicando as áreas de potenciais inundações costeiras. Dois municípios foram selecionados para criação do MDS: Tramandaí e Palmares do Sul, seguindo o critério de grau de urbanização, sendo o primeiro um ambiente urbanizado e o segundo um ambiente natural. Informações satisfatórias para identificação de áreas vulneráveis à inundação sobrepondo cotas de elevação do nível do mar ao modelo digital de terreno foram encontrados por Benavente *et al.* (2006), Raji *et al.* (2011) e Serpa *et al.* (2011).

2.5. Hierarquização da sensibilidade (ISL)

A fim de verificar quais trechos são mais sensíveis, foram sobrepostos, os sangradouros, os ambientes e o mapa de inundação. Foram, então, identificados os trechos com maior densidade de sangradouros conectados a ambientes sensíveis presentes dentro da área de inundação. Nos trechos urbanizados, onde ocorre a ocupação urbana sob as dunas frontais, foram identificadas as áreas com o cordão de dunas ausente e com alta densidade de sangradouros.

Estes trechos foram considerados de alta sensibilidade e mapeados com um ISL diferente dos outros locais. A diferenciação foi realizada de duas formas: a primeira através da digitalização com uma cor diferente dos trechos considerados de sensibilidade normal, e a segunda pela disposição de um ícone representando sangradouros nos trechos mais sensíveis.

3. Resultados e discussão

3.1. Sangradouros

A distribuição espacial de sangradouros, conforme pode ser visualizada na figura 4, não é homogênea ao longo da área de estudo. Observa-se uma nítida diferença de densidade entre as áreas naturais (Mostardas) e as áreas urbanas (Palmares do Sul a Tramandaí).

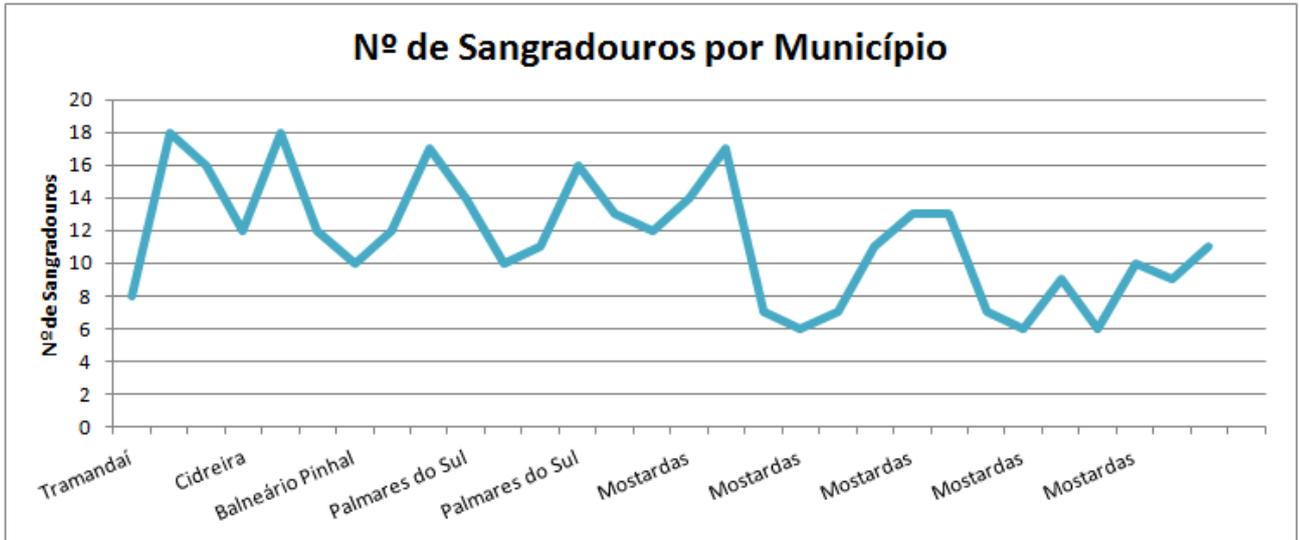


Figura 4: Distribuição espacial dos Sangradouros ao longo da área de estudo. No gráfico é mostrado a frequência de sangradouros em trechos de 5 km.

A maior concentração de sangradouros nos centros urbanos (entre Tramandaí e Cidreira) é explicada pela pavimentação das ruas, que diminui a área de infiltração e causa a impermeabilização dos solos. O excesso de água acumulado é, então, drenado superficialmente até a praia, erodindo a duna frontal e criando um sangradouro ao final de cada quadra. Os sangradouros nestas áreas dividem-se entre intermitentes: possuam existência condicionada pelo volume pluviométrico; e permanentes: relacionados à drenagem das ruas.

A existência de sangradouros nas áreas naturais, por sua vez, está relacionada à drenagem natural do excesso de água acumulado nas planícies de deflação durante períodos de alta pluviosidade. As planícies de deflação, de acordo com Aguiar & Cestaro (2012), são superfícies planas, horizontais ou ligeiramente inclinadas, que se estendem desde o limite de maré alta até a base dos

campos de dunas. Durante períodos de alta pluviosidade, estas superfícies acumulam água, que é, então, drenada para a praia através dos sangradouros.

As diferenças entre as áreas naturais e as povoadas não se restringem à densidade, mas também à morfologia dos sangradouros. Nas cidades os sangradouros são curtos, rasos e “canalizados”, ou seja, possuem o curso retilíneo e a posição relativamente fixa (figura 5a). Esta configuração está relacionada ao rápido escoamento da água durante os períodos de elevada pluviosidade. Por sua vez, nas áreas naturais, os sangradouros adquirem maiores extensões e profundidades, já que a orientação do campo de dunas propicia a formação de longos canais (Figura 5b). Nestes locais os sangradouros são meandranes ou anastomosado, devido à configuração do campo de dunas.



Figura 5: Sangradouros representados pelas linhas azuis. a) Sangradouros no município de Cidreira (RS). b) Sangradouros em Mostardas (RS). Fonte: GoogleEarth

Nas áreas naturais também é comum a existência de canais rasos e largos (figura 6), semelhantes a sangradouros, formados durante o transbordamento de

lagoas de bolso paralelas à costa durante períodos de elevada pluviosidade.

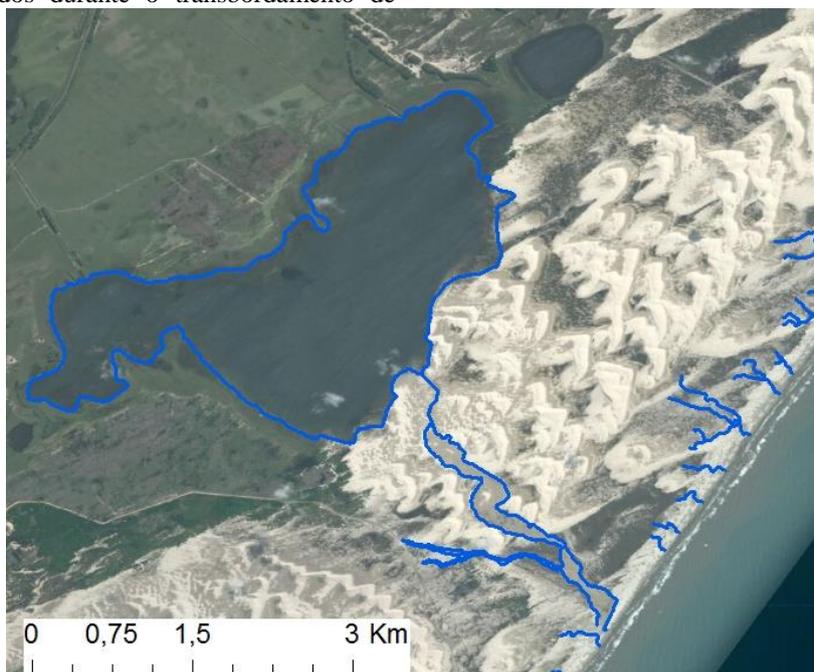


Figura 6: Canal formado pelo transbordamento de lagoa de bolso. Fonte: GoogleEarth

As lagoas de bolso são corpos de água permanentes, que podem possuir até alguns quilômetros de diâmetro. A conexão com o oceano é intermitente e ocorre durante períodos chuvosos, quando o excesso de água é drenado por canais até a praia. Estas feições são abundantes no litoral norte do RS, na região denominada Rosário de lagoas de bolso.

As principais diferenças entre estas aberturas e os sangradouros, segundo [Figueiredo et al. \(2007\)](#), estão relacionadas à dimensão: são mais rasos e largos; e à área fonte de água. Enquanto nos sangradouros a água é oriunda dos pântanos e banhados localizados atrás das dunas frontais, nas lagoas de bolso a fonte é o próprio corpo de água da lagoa.

3.2. Marés meteorológicas

3.2.1. Elevação do Nível do Mar

Ao longo dos últimos anos vários autores caracterizaram as marés meteorológicas a fim de verificar as condições atmosféricas durante a ocorrência dos eventos e os efeitos dos mesmos na costa. A partir destes trabalhos obteve-se um pequeno histórico dos valores máximos de elevação do nível do mar (altura de onda) associados a marés meteorológicas para o RS, conforme pode ser visualizado na tabela 1.

Tabela 1: Histórico de Elevação Máxima do Nível do Mar no Rio Grande do Sul. Os valores de elevação referem-se à altura da onda.

Data	Local	Valor Máximo Elevação (m)	Fonte
10/11/1989	Imbé	1,79	Toldo Jr et al. (1993)
Fev/93 a Jul/95	Imbé a Arroio do Sal	2,90	Weschenfelder & Ayup (2002)
14/07/1993	Cassino	2,75	Calliari et al. (1998)
21/04/1995	Cassino	2,50	Tozzi (1999)
Abril/1996	Tramandaí	1,73	D'Aquino (2003)
19/01/2005	Mostardas	1,85	Absalonsen & Toldo Jr (2008)
09/05/2005	Mostardas	1,71	Absalonsen & Toldo Jr (2008)
04/06/2006	Tramandaí	3,00	Oliveira (2008)
Agosto/2006	Cassino	1,84	Parise et al. (2009)
Junho/2007	Cassino	1,90	Parise et al. (2009)

Através deste levantamento foi possível perceber que valores altos de elevação estão relacionados a características atmosféricas semelhantes. Estas características podem ser agrupadas para obtenção das condições propícias à elevação do nível do mar.

A primeira condição chave para a elevação são ventos fortes provindos do quadrante S-SW ([Tozzi 1999](#), [Beldran et al. 2000](#), [Parise et al. 2009](#) e [Parise 2007](#)). De acordo

com [Xavier \(2003\)](#), [Saraiva et al. \(2003\)](#) e [Parise et al. \(2007\)](#). Outra condição é a duração do evento, que deve ter, no mínimo, 12 a 24 horas de ação do vento. Conforme [Tozzi \(1999\)](#), uma longa pista de vento (*fetch*) e um gradiente de pressão atmosférica também são necessários.

[Calliari et al. \(2010\)](#) citam fatores adicionais para a ocorrência de marés meteorológicas, entre eles: a presença (ou não) de ciclones associados, assim como a

velocidade de deslocamento, trajetória e distância da costa dos mesmos. Apesar da ocorrência de ciclones não ser uma condição obrigatória para ocorrência de marés meteorológicas, eles estão ligados aos maiores valores de elevação relativa do nível do mar.

Com base no histórico apresentado na tabela 1, foi calculada a média de elevação máxima do nível do mar durante eventos de alta energia, que foi de 2,2 metros. Este valor foi comparado às cotas de elevação do MDS a fim de obter as áreas susceptíveis à inundação. Estas áreas estão representadas nos mapas de inundação demonstrados a seguir.

3.2.2. Área de inundação

O mapa de inundação obtido para a região Quintão (em Palmares do Sul) no RS pode ser visualizado na figura 7.

Á área inundada está representada pela cor azul e se refere a uma elevação de 2,2 metros.

Uma elevação de 2,2 metros em Quintão causou inundação em áreas distantes até 300 metros da praia. Os trechos com maior intrusão do mar foram identificados como aqueles com presença de sangradouros.

Em Tramandaí, a área inundada (figura 8) apresentou valores próximos a 500 metros em trechos urbanizados onde o cordão de dunas frontais encontrava-se erodido. Nas áreas despovoadas com presença de sangradouros, o mar invadiu o continente em áreas distantes até 250 metros da praia.

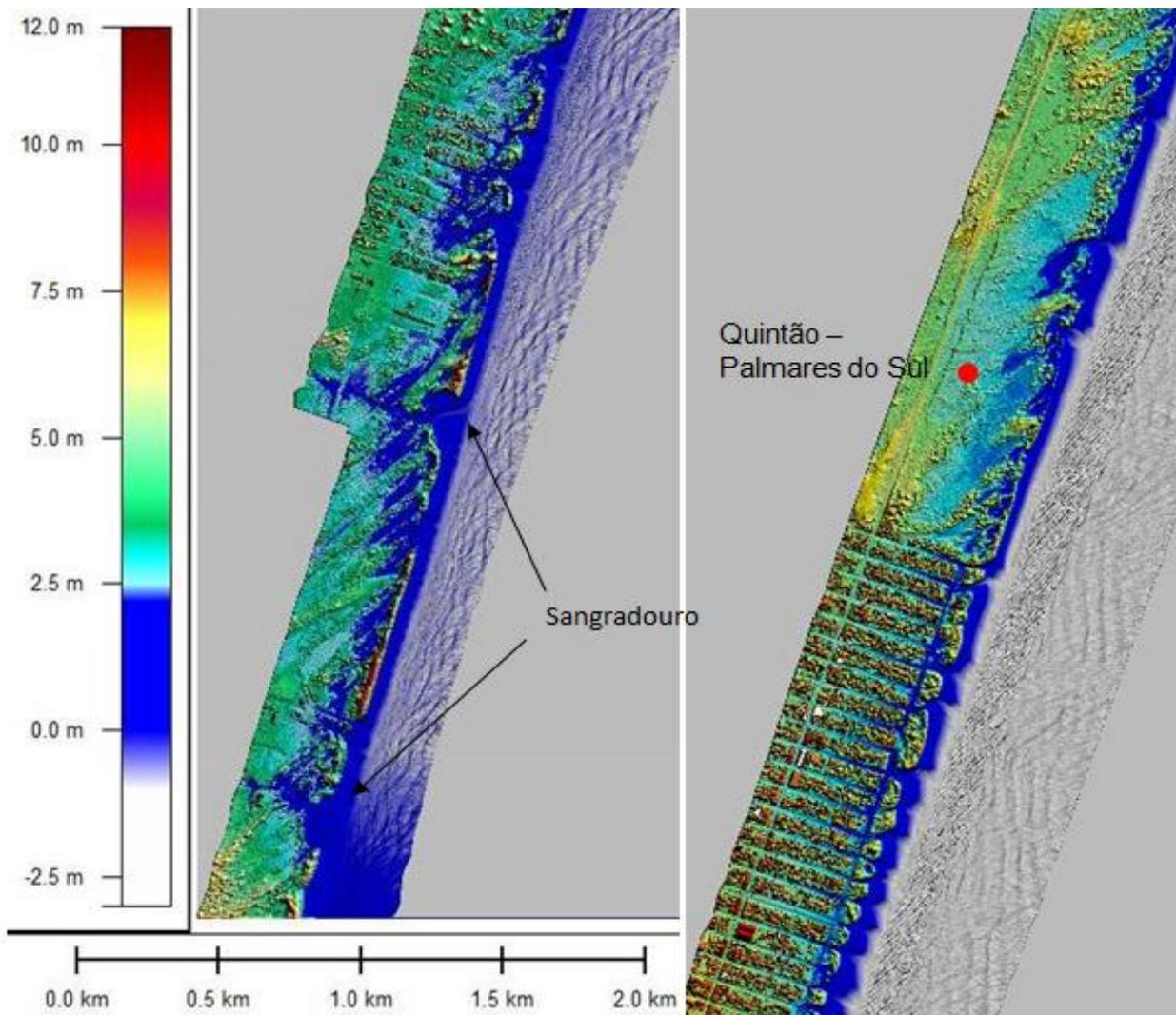


Figura 7: Mapa de Inundação para Quintão/RS.

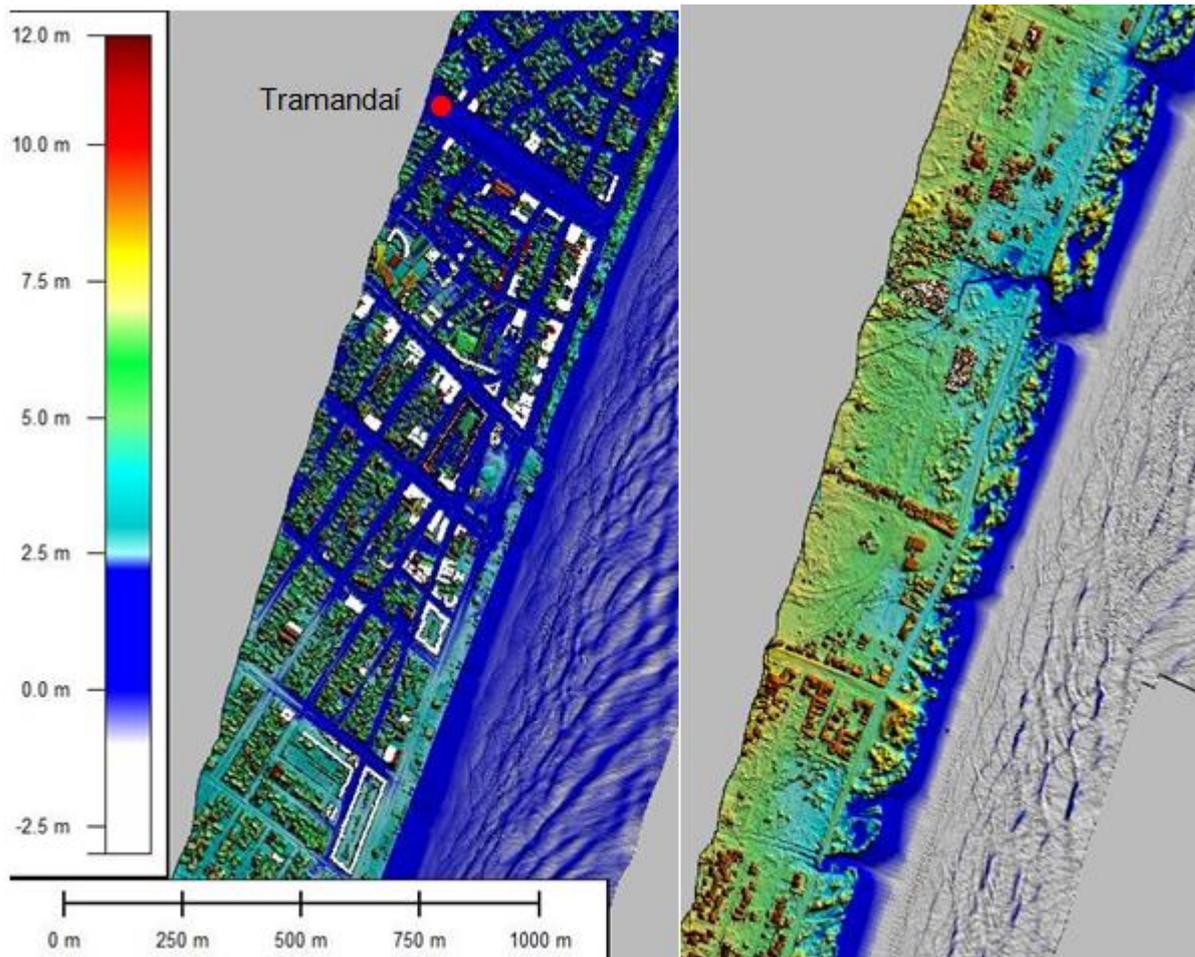


Figura 8: Mapa de Inundação para Tramandaí/RS

As figuras 7 e 8 permitem afirmar que trechos com alta densidade de sangradouros constituem áreas sensíveis a alagamentos já que, além de possuírem cotas altimétricas mais baixas, que propiciam a inundação, os mesmos causam a interrupção do cordão de dunas frontais. A descontinuidade do cordão de dunas retira a proteção natural que as mesmas conferem à praia e, conseqüentemente, criam pontos de vulnerabilidade a elevações do mar.

Os mapas de inundação obtidos ofereceram uma visão geral das áreas susceptíveis à inundação, pois identificaram áreas mais baixas, que são um acesso para a intrusão da água durante períodos de elevação do nível do mar. Também foi possível verificar que os sangradouros, por possuírem cotas altimétricas menores ao longo de seu curso, favorecem a intrusão do mar até áreas mais interiores.

Os valores obtidos referentes à inundação foram usados de forma qualitativa, a fim de identificar os pontos mais vulneráveis, ou seja, aqueles que possuem maior potencial para entrada da água. A metodologia de comparação das cotas altimétricas com a elevação do mar não é totalmente

eficaz para dados quantitativos, já que ela desconsidera qualquer tentativa de proteção, como muros, pedras e sacos de areia colocados pela população, que podem oferecer um obstáculo ao avanço do mar durante marés meteorológicas.

A área de inundação, por fim, foi estipulada como o limite máximo de alcance do óleo durante um acidente. Apesar dos valores desconsiderarem as tentativas de proteção, como dito anteriormente, os mapas de sensibilidade devem considerar sempre o princípio da precaução (Lei 6938/1981), que nesse caso seria o pior cenário possível.

3.3. Ambientes susceptíveis à inundação

Os mapas de inundação mostraram que, durante um evento de elevação notável do nível relativo do mar e aumento da altura de onda máxima, a área inundada pode chegar a 300 metros em áreas naturais. Dentro destes 300 metros encontram-se diferentes ambientes (Figura 9), como microlagoas, áreas vegetadas, áreas povoadas e campos de dunas, que sofreriam com a ação do mar.

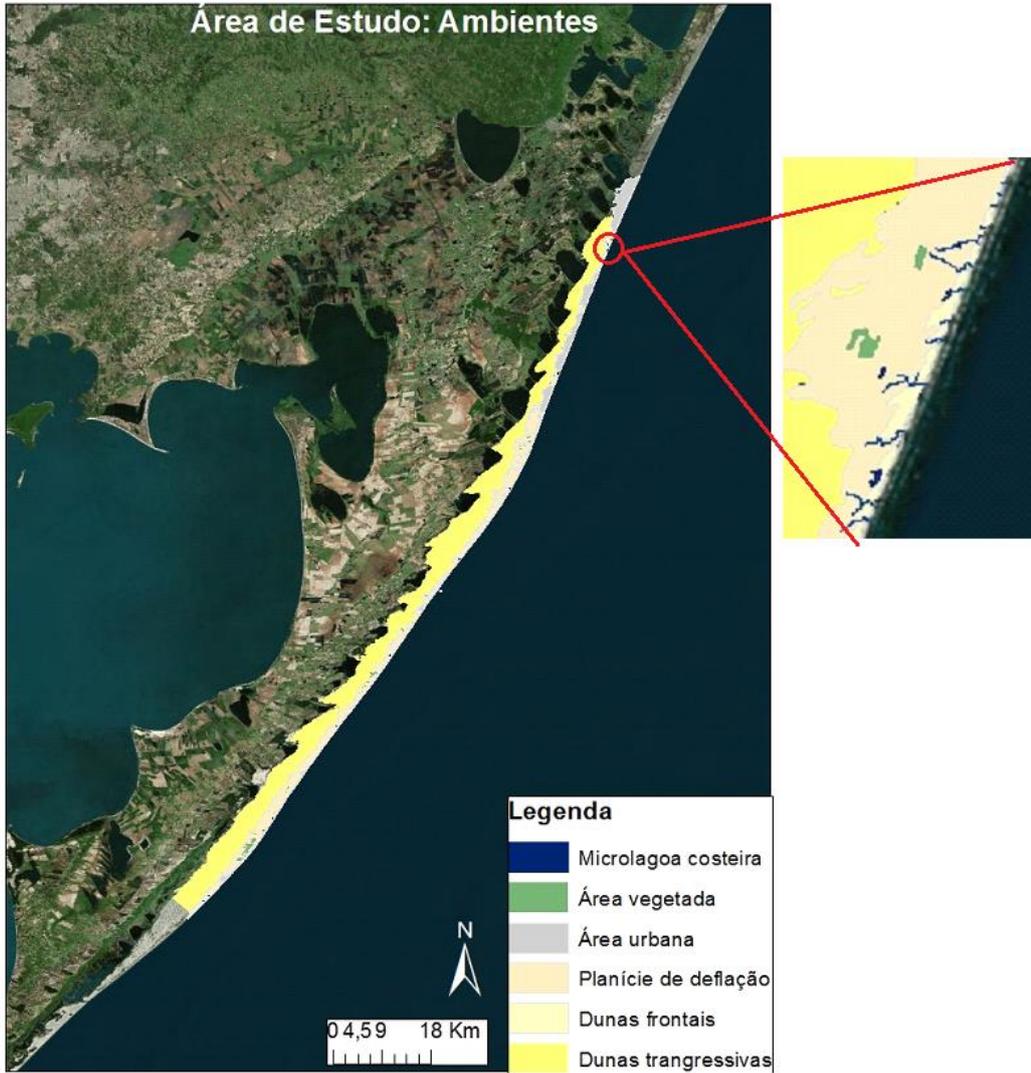


Figura 9: Ambientes mapeados para a área de estudo

As microlagoas se caracterizam como pequenos corpos de água, ou áreas úmidas, com margens vegetadas conectadas, permanente ou intermitentemente, aos sangradouros (figura 10). Por possuírem dimensões pequenas, as microlagoas podem desaparecer durante

períodos de secas intensas. Estes corpos de água apresentam alta importância ecológica e social já que servem de hábitat para diversas espécies de aves e são fonte hídrica para pequenas habitações.



Figura 10: Microlagoa costeira localizada em Palmares do Sul (RS)

As áreas povoadas englobam tanto as grandes cidades costeiras, como Tramandaí, Cidreira e Quintão, como também os pequenos balneários ou vilarejos localizados próximos às lagoas de bolso e às microlagoas. Já as áreas vegetadas representam manchas de vegetação nativa esparsas ou plantações de *Pinus sp.* presentes em alguns trechos ao longo da área de estudo.

Os campos de dunas transgressivos são formados por dunas móveis não vegetadas, que permitem a migração do sedimento. Estes campos são expressivos na área de estudo devido a uma conjunção de fatores, que incluem a topografia de terras baixas, representadas pela planície costeira, o regime de ventos apropriados e o grande estoque de areia fina (Martins 1967, Tomazelli & Villwock 1992).

Estes campos de dunas, por estarem afastados da linha de costa, não sofrem qualquer tipo de inundação durante

situações de elevação do nível do mar, porém, a presença do campo de dunas transgressivo propicia a formação da planície de deflação. A planície de deflação, por sua vez, influencia a morfologia dos sangradouros.

3.4. Classificação do ISL

A sobreposição dos sangradouros e ambientes ao mapa de inundação permitiu identificar os trechos mais sensíveis. Nas áreas naturais foram classificados como mais sensíveis àqueles trechos com presença de microlagoas, vegetação e vilarejos próximos à costa e conectados aos sangradouros. Nas áreas urbanizadas foram classificados como mais sensíveis os trechos com maior densidade de sangradouros onde o cordão de dunas encontra-se ausente ou desestabilizado. Estes trechos estão representados pela cor vermelha na figura 11.



Figura 11: Sensibilidade ao óleo da Costa. Trechos em vermelho representam áreas mais sensíveis por causa da presença de sangradouros

Dentro de um cenário acidental com óleo durante uma elevação do nível do mar, os trechos em vermelho sofreriam maior impacto, visto que o óleo não estaria contaminando apenas uma praia, como descrito no ISL, mas também diversos ambientes mais sensíveis como lagoas e casas. Os sangradouros nestes locais estariam, não só contaminando outros ambientes, mas também aumentando a área de contato do óleo e, conseqüentemente, aumentando o tempo de permanência e dificultando a remoção do mesmo.

A definição de áreas prioritárias de proteção é essencial para o direcionamento da capacidade de resposta e, conseqüentemente, diminuição dos impactos ambientais e dos custos. A utilização da análise de sangradouros mostrou-se eficiente na definição destas áreas, porém, a metodologia padrão das Cartas SAO não prevê este tipo de alteração a partir da mudança dos valores do ISL (1 a 10), que é, obrigatoriamente, o valor dado às praias arenosas.

Em função desta limitação, propõe-se a inserção de um símbolo representando os mesmos nos trechos mais sensíveis. O mapa final gerado com o ISL padrão e os símbolos propostos para as áreas sensíveis a sangradouros podem ser visualizados na figura 12.

Os mapas priorizando os trechos sensíveis foram realizados em escala 1:150.000 de acordo com as Cartas SAO táticas oficiais da Bacia de Pelotas. Porém, esta metodologia apresentaria melhores resultados em escalas grandes, na ordem de 1:50.000 ou 1:25.000, que correspondem às escalas das Cartas SAO operacionais. As cartas operacionais conseguem eficientemente, detalhar e diferenciar trechos menores, sendo, portanto, recomendáveis para a metodologia aqui aplicada.

4. Conclusões

Os sangradouros demonstraram-se efetivos no refinamento do método de classificação de sensibilidade do litoral (ISL). Estas feições possuem o potencial para aumentar a sensibilidade ao óleo de uma área, já que, durante marés meteorológicas, principalmente as acompanhadas de ventos fortes do quadrante S-SW, os mesmos causam inundação em áreas continentais.

Observa-se que os sangradouros causam a descontinuidade do cordão de dunas frontais, retirando a barreira natural que as mesmas oferecem ao avanço do nível do mar. Esta característica se demonstrou evidente nos mapas de inundação (figuras 7 e 8), onde as áreas com sangradouros apresentaram inundação de até 500 metros.



Figura 12: Mapa final com a disposição dos ícones referentes à sangradouros nos trechos mais sensíveis. A linha em azul representa o índice de sensibilidade 3, pelo método oficial do MMA.

Um acidente ocorrendo durante uma maré meteorológica, terá seus impactos amplificados nas áreas com alta densidade de sangradouros, já que os mesmos funcionarão como um acesso ao óleo derramado para ambientes mais sensíveis.

Como as marés meteorológicas são comuns no RS e alturas de onda superiores a 1,5 metros são recorrentes, a integração dos sangradouros às Cartas SAO se torna essencial para a Bacia de Pelotas, visto que este recurso ajudará na definição de áreas prioritárias de proteção e, conseqüentemente, no direcionamento da capacidade de resposta e de ações que a metodologia oficial não consegue abranger.

A inclusão destas feições às Cartas foi proposta a partir da inclusão de um ícone representando os sangradouros, visto que mudanças no valor do ISL (1 a 10) não são previstas.

Contudo, a potencialidade de aumento da sensibilidade ao óleo pelos sangradouros se restringe aos períodos de elevação do nível mar, já que é durante estes eventos que o fluxo do sangradouro se inverte e a água passa a ser direcionada para o continente. Situações como essa se enquadram no conceito de princípio da precaução, que rege a Lei máxima de meio ambiente no Brasil, uma vez que caracterizam um cenário pessimista que conjuga um derrame de óleo com uma situação de elevação de nível do mar.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Agência Nacional do Petróleo pela concessão da bolsa (via Programa de Recursos Humanos). Ao PRH-27 pela estrutura e auxílio na execução do trabalho.

Referências bibliográficas

Aguiar L.S., Cestaro L.A. 2012. Caracterização da unidade geoambiental litorâneo-eólica de Senador Georgino Avelino/RN. Revista Geonorte. Edição especial, V. 3: p. 703-714.
 Araújo S.I., Silva G.H., Muehe D. 2000. Minuta do manual básico para elaboração de cartas de sensibilidade no sistema petrobrás. p. 170.
 Beldran C., Saraiva J., Carneiro C. 2000. Monitoramento de “storm

surges” na costa do RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS. Anais... Santa Catarina. pag 175-177. 2000.
 Benavente J., Río L. Del., Gracia F.J., Martínez-Del-Pozo J.A. 2006. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). Continental Shelf Research, 26: p. 1061-1076.
 Calliari L.J., Guedes R.M.C., Pereira P.S., Lélis R.F., Antikeira J.A., Figueiredo S.A. 2010. Perigos e Riscos associados a processos costeiros no Litoral Sul do Brasil (RS): uma síntese. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. 14(1), p. 51-63.
 Calliari L.J., Klein A.H.F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. Pesquisas, 20: p. 48-56.
 Calliari L.J., Tozzi H.A.M., Klein A.H.F. 1998. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in Southern Brazil – Rio Grande to Chuí. Academia Brasileira de Ciências. p. 231 – 247.
 Cardoso C.D.P.C. 2006. Estudo da macrofauna benthica de praias do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, como subsídio a elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental a derrames de petróleo. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Ecologia, Universidade Estadual de São Paulo/ UNESP.
 Castanedo S., Juanes J.A., Medina R., Puente A., Fernandez F., Olabarrieta M., Pombo C. 2009. Oil spill vulnerability assessment integrating physical, biological and socio-economical aspects: Application to the Cantabrian coast (Bay of Biscay, Spain). Journal of Environmental Management. 91. p.149-159.
 Figueiredo S.A., Calliari L.J. 2005. Sangradouros: Distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. Gravel, 3: p. 47-57.
 Figueiredo S.A., Cowell P., Short A. 2007. Intermittent backbeach discharge to the surfzone: modes and geomorphologic implications. Journal of Coastal Research, Special Issue 50. p. 610 – 614.
 Figueiredo S.A., Calliari L.J. 2006. Washouts in the central and northern littoral of Rio Grande do Sul State, Brazil: distribution and implications. Journal of Coastal Research, Special Issue 39. P. 366 – 370.
 Freire I.D.S.O. 2006. Mapeamento de sensibilidade ambiental para derrames de óleo da porção sul da costa do Rio Grande do Sul, Rio Grande. Rio Grande, p.43. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Oceanologia, Instituto de Oceanografia - Universidade Federal do Rio Grande/FURG.
 Goulart A.L.R., Cozza R.J. 2010. Geotecnologias aplicadas ao estudo e manejo de sangradouros, estudo de caso do Arroio Querência, praia do Cassino, RS. Monografia (Técnico em Geomática). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Rio Grande/RS. 31 p.
 Gundlach E., Hayes M.O. 1978. Vulnerability of costal environments to oil spill impacts. Marine Technology Society Journal, v.12, n.4, p. 18-27.

- 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 de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande/FURG. Rio Grande. 118 p.
- Marinho C. 2013. Avaliação do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) no âmbito das Cartas SAO: Identificação de lacunas e proposição das variáveis biológicas em sua composição. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. Anais... Sergipe. 8 pág
- Marone E., Camargo R. 1994. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. Revista Nerítica, Editora da UFPR, 8 (1-2). p. 73 – 85.
- Martins K.A. 2013. Definição de ambientes quanto ao grau de exposição à energia hidrodinâmica no Lago Guaíba e Lagoa dos Patos no contexto do Índice de Sensibilidade Ambiental do Litoral (ISL), Rio Grande, p. 59. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Oceanologia. Instituto de Oceanografia - Universidade Federal do Rio Grande/FURG.
- Martins L.R. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial, Escola de Geologia UFRGS, Porto Alegre. v. 13, p. 102
- Matos M.P., Lima-Guimarães S.T. 2012. A percepção ambiental em planos de emergência: uma proposta para os estudos de sensibilidade ambiental a derrames de óleo. In: Guimarães, S.T.L., Carpi Jr. S., Godoy M.B.R.B., Tavares A.C. (Orgs). Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais. 1ª edição. IGCE/UNESP/RIO CLARO. Rio Claro. p. 121-150.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2007. Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Gerência de Qualidade. 107 p.
- Motta V. 1969. Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra de Rio Grande. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre.
- Nicolodi J.L. 2015. Mapeamento de sensibilidade ao óleo da bacia marítima de Pelotas. In: XV CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO – ABEQUA. Anais... Imbé, RS. 2 p.
- Oliveira C.R. 2006. Mapa de sensibilidade ambiental para derrame de óleo para a porção norte da costa do Rio Grande do Sul, Rio Grande, p. 205. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Oceanologia, Instituto de Oceanografia -. Universidade Federal do Rio Grande/FURG.
- Parise C.K. 2007. Padrões atmosféricos sinóticos geradores de marés meteorológicas intensas e a resposta morfodinâmica da praia do Cassino, Rio Grande, p.70. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Oceanologia. Instituto de Oceanografia – Universidade Federal do Rio Grande/FURG.
- Parise C.K., Calliari L.J., Costi J. 2007. Influência das marés meteorológicas na variação do pacote subaéreo do sedimento da praia do Cassino, litoral do RS. In: XII CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12, 2007. Florianópolis. Resumos....Santa Catarina: Associação Latino-americana de Pesquisadores em Ciências do Mar e Associação Brasileira de Oceanografia. 2007.
- Parise C.K., Calliari L.J., Krusche N. 2009. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. Brazilian Journal of Oceanography. 57(3). p. 175-188.
- Pereira da Silva R. 1998. Ocorrência, distribuição e características morfodinâmicas dos sangradouros na zona costeira do Rio Grande do Sul: trecho Rio Grande – Chuí, RS. Porto Alegre, p. 43. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pereira P.S. 2005. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geo-morfológicos. Rio Grande, 161 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Instituto de Oceanografia - Universidade Federal do Rio Grande/FURG
- Portz L.C., Manzolli R.P., Gruber N.L.S., Correa I.C.S. 2010. Turismo e degradação na orla do Rio Grande do Sul: conflitos e gerenciamento. Desenvolvimento e Meio Ambiente, nº 22. Editora UFPR. P: 153-166.
- Pugh D.T. 1987. Tides, Surges and Mean Sea-Level. Chichester, UK John Wiley & Sons Ltda. 472 p.
- Raji O., Del Río L., Gracia F.J., Benavente J. 2011. The use of LIDAR data for mapping coastal flooding hazard related to storms in Cádiz Bay (SW Spain). Journal of Coastal Research, 64: pág 1881 – 1885.
- Saraiva J.M.B., Bedran C., Carneiro C. 2003. Monitoring of storm surges on Cassino Beach. Journal of Coastal Research. 35 (SI). p. 323-331.
- Serpa C.G. 2008. Estudo da influência dos fatores climáticos, hidrológicos e morfológicos no ciclo de vida de um sangradouro intermitente, Praia do Cassino, Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande/FURG, Rio Grande. 95 p.
- Serpa C.G. 2013. Morfodinâmica praias relacionada à presença de corpos de água intermitentes em duas praias da costa do Rio Grande do Sul, Brasil. Rio Grande, P.124. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande/FURG.
- Serpa C.G., Romeu M.A.R., Fontoura J.A.S., Calliari L.J., Melo E., Albuquerque M.G. 2011. Study of the responsible factors for the closure of an intermittent washout during a storm surge, Rio Grande do Sul, Brazil. Journal of Coastal Research, special issue, 64: 2068-2073.
- Toldo Jr. E.E., Dillenburg S.R., Almeida L.E.S.B., Tabajara L.L., Martins R.R., Cunha L.O.B.P. 1993. Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. Pesquisas, 20 (1); p. 27-32.
- Tomazelli L.J., Villwock J.A. 1992. Considerações sobre o ambiente praias e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas em Geociências, 19 (1): 3-12.
- Tomazelli L.J., Villwock J.A. 2000. O Cenozóico do Rio Grande do Sul: Geologia da planície costeira. p. 375-406. In: Holz M., DeRos L.F. (eds). Geologia do Rio Grande do Sul. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre.
- Tozzi H.A.M. 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Companhia do Outono e Inverno de 1996. Porto Alegre, p. 115. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geociências – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Turner I.L., Coates B.P., Acworth R.I. 1997. Tides, waves and the super-elevation of groundwater at the coast. Journal of Coastal Research, 13:1. P: 46 – 60.
- Vasconcelos T.L., Barbosa C.C.A., Valdevino D.S., Sá L.A.C.M. 2010. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo e sua distribuição no Brasil. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO. Anais... Recife, PE.
- Vianna H.D. 2013. Variabilidade do sistema praia-dunas para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres – Brasil) apoiado em dados laser scanner – LIDAR. Rio Grande, p. 189. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica – Universidade Federal do Rio Grande/FURG.
- Villwock J.A. 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A synthesis. Pesquisas, 16: p.5-49.
- Villwock J.A., Tomazelli L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, UFRGS. Porto Alegre, 8: 1-45.
- Villwock J.A., Tomazelli L.J., Loss E.L., Dehnhardt E.A., Horn N.O., Bachi F.L.A., Dehnhardt B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. ed. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. A.A. Balkema, Rotterdam. 4: 79-97.
- Wright L.D., Short A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zone and beaches: a synthesis. Marine Geology, 56: 93-118.

Recebido 10 de maio de 2016
Aceito 28 de junho de 2017