



## Análise da sedimentologia como subsídio à avaliação da sensibilidade ambiental a óleo da Bacia Sedimentar de Pelotas-RS/SC, Brasil

### *Analysis of sedimentology as a subsidy for the assessment of environmental sensitivity to oil in the Pelotas Sedimentary Basin-RS/SC, Brazil*

Vanessa Caetano Marques\*  , João Luiz Nicolodi  

Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande,  
Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: vanessamarques.c@hotmail.com

\*E-mail para correspondência: joaonicolodi@furg.br

Recebido (Received): 29/05/2020

Aceito (Accepted): 01/12/2020

**Resumo:** As atividades da indústria petrolífera se distribuem por todo o território brasileiro, ocasionando impactos ao longo de sua zona costeira, ao passo que neste cenário coexistem demandas econômicas e socioambientais do país. De modo a gerir os riscos e danos que tais atividades podem acarretar aos ambientes marinhos e costeiros, o governo brasileiro, por meio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), deu início, ainda em 2002, ao mapeamento da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo das bacias sedimentares marítimas brasileiras. O presente trabalho se insere neste contexto através do Projeto Cartas SAO – Bacia de Pelotas, tendo como objetivo apresentar os resultados do estudo granulométrico de praias oceânicas, lagunares e estuarinas da porção brasileira da bacia sedimentar de Pelotas, bem como discutir lacunas presentes no método oficial de classificação da sensibilidade ambiental de tais ambientes. A metodologia adotada neste trabalho obteve os parâmetros granulométricos de amostras sedimentares coletadas nas faces das praias que, em conjunto com referências sobre a hidrodinâmica da área e permeabilidade de praias, possibilitou a discussão da representatividade do método oficial para praias que compõem a planície costeira em questão. Os resultados apresentaram algumas lacunas no Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), relacionadas à variação dos parâmetros granulométricos analisados, uma vez que o mesmo não considera a dinâmica da distribuição espacial das partículas sedimentares dentro de um mesmo pacote, fator fundamental para a definição da permeabilidade das praias, além de interpretar de maneira teórica a permeabilidade atribuída a estes pacotes sedimentares. Tais discrepâncias podem confundir a tomada de decisão em ações de resposta a acidentes com óleo, deixando vulneráveis os ambientes e as comunidades que neles residem e que através deles sobrevivem.

**Palavras-chave:** Granulometria; Zona Costeira; Cartas SAO.

**Abstract:** *The activities of the oil industry are expanding throughout the Brazilian territory, causing significant changes along its coastal zone. In this scenario, the economic and socio-environmental demands of the country coexist. In order to manage the risks and damages that such activities cause to marine and coastal environments, the Brazilian government, through the Ministry of the Environment (MMA), began, in 2002, to map the environmental sensitivity to oil spills of Brazilian maritime sedimentary basins. The present work fits in this context through the Cartas SAO Pelotas Project and aims to present the results of the granulometric study of oceanic, lagoon and estuarine beaches of the Brazilian portion of the Pelotas sedimentary basin, as well as to discuss the gaps present in the official classification method of the environmental sensitivity of such environments. The methodology adopted in this work obtained the granulometric parameters of sedimentary samples collected on the beach faces which, combined with the references on the area hydrodynamics and beach permeability, allowed to discuss the representativeness of the official method for beaches that form the Brazilian coastal plain of the Pelotas basin. The results presented some gaps in the Coastal Sensitivity Index (ISL), related to the variation of the analyzed particle size parameters, since it does not consider the dynamics of the spatial distribution of sedimentary particles, a fundamental factor for the permeability of the beaches, besides interpreting theoretically the permeability attributed to sedimentary packages, discarding practical works previously performed. Such disparities can*

*compromise actions in response to oil accidents, leaving vulnerable environments and communities that reside in and survive through them.*

**Keywords:** *Granulometry; Coastal Zone; SAO Maps.*

---

## 1. Introdução

A sociedade moderna ainda tem, no início da terceira década do século XXI, o petróleo como uma das principais fontes de energia utilizada pelo homem, não apenas para a produção de gasolina e diesel, mas também na fabricação de produtos plásticos, fármacos, fertilizantes, dentre uma gama significativa de produtos petroquímicos que fazem parte da vida cotidiana social (DUDLEY, 2018).

De modo a saciar a demanda do consumo, as atividades da indústria petrolífera continuam a movimentar significativamente a economia global com o crescimento exploratório inevitável destes hidrocarbonetos, pelo menos em curto prazo (ADLER e INBAR, 2007).

Porém, além da exploração em si, o transporte do produto em questão é primordial para a sua comercialização. Os principais tipos de transporte de hidrocarbonetos dividem-se em terrestre, ferroviário, rodoviário, dutoviário e aquaviário. Especificamente no meio aquático, os acidentes ocorrem principalmente devido a colisões de navios transportadores, rompimento de dutos e explosões em plataformas (ROMERO *et al.*, 2011).

Estes tipos de incidente são fontes de derrames que causam impactos sobre a vida aquática, atingindo também atividades socioeconômicas, como a pesca e o turismo (HELLEA *et al.*, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2017; NELSON e GRUBESIC, 2017; PARVIAINEN *et al.*, 2019).

Dados do Oil Tanker Spill Statistics (ITOPF, 2019) apontam que 59% dos incidentes com óleo no mundo foram causados por colisões e encalhes de embarcações durante o transporte dos produtos. Estas mesmas causas representaram uma porcentagem ainda maior de incidentes quando a embarcação estava navegando em águas interiores ou restritas, ocasionando 99% dos derrames. Porém, essas não são as únicas maneiras de emissão de tais substâncias, elas também entram em contato com os ambientes através de esgotos e drenagem urbana, afloramentos naturais, plataformas de produção, atividades ligadas aos terminais e portos, acidentes/naufrágios e fontes atmosféricas (ROMERO *et al.*, 2011).

No Brasil, o IBAMA, órgão responsável pela fiscalização da atividade, publicou até o ano de 2013 registros completos sobre estes derrames, os quais apontam à época 81 incidentes em plataformas, 61 em embarcações, 59 em indústrias, 32 em dutos, 28 envolvendo armazenamento ou depósito de produtos perigosos, 14 em portos e terminais, 10 em postos de combustíveis, 5 em refinarias, todos envolvendo produtos perigosos (IBAMA, 2014). Já a Agência Nacional de Petróleo e Gás (ANP) informa que a média da taxa de incidentes por milhão de hora trabalhada de instalações de exploração e produção offshore no Brasil foi de 21,9 ao ano, entre 2014 e 2018 (ANP, 2020). Estes dados são inequívocos para demonstrar que as várias etapas de produção e logística de petróleo e derivados são suscetíveis à imprevistos, por mais que as medidas de segurança também venham avançando com o tempo.

Os casos mais significativos ocorreram em 2000, quando do acidente com tubulações de transporte de óleo na Baía da Guanabara, Rio de Janeiro, que resultou em 1,3 milhões de litros de óleo cru vazados no ambiente, causando grandes danos aos manguezais, praias e à população de pescadores da região (MARINHO e NICOLODI, 2019) e, em 2019, quando mais de 3.000 km de linha de costa e 980 praias foram afetadas, caracterizando o mais extenso e severo desastre ambiental já registrado na história do Brasil, na bacia oceânica sul Atlântica, e em regiões tropicais do mundo (SOARES *et al.*, 2020). Duas hipóteses centrais sobre as causas deste acidente divergem quanto à intencionalidade, mas apontam o derramamento de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de *dense crude oil* venezuelano oriundos de alguma embarcação (MAGRIS e GIARRIZZO, 2020; SOARES *et al.*, 2020).

No Brasil, definiram-se como espaço territorial para a gestão das atividades relacionadas à exploração de óleo e gás as Bacias Sedimentares (MMA, 2007), para as quais incide uma legislação específica que tem como sua principal expoente a Lei do Óleo (Lei nº 9.966/2000), a qual preconiza que portos organizados, plataformas e demais instalações portuárias devem possuir planos de emergência para combate à poluição por óleo e substâncias nocivas ou perigosas. Este plano consiste em um conjunto de ações de resposta que devem ser desencadeadas imediatamente após um incidente. Um dos principais instrumentos deste plano são as Cartas de Sensibilidade ao Óleo – Cartas SAO, elaboradas para as áreas em risco de serem atingidas no caso de derrame de óleo (MMA, 2007).

Segundo essa mesma Lei (nº 9.966/2000), um incidente com óleo é definido como qualquer forma de liberação do óleo para o ambiente, decorrente de fato ou ação intencional ou acidental que ocasione risco potencial, dano ao meio ambiente ou à saúde humana (BRASIL, 2000).

No caso específico das Cartas SAO, o conceito de sensibilidade pode ser compreendido pelo nível de estresse que um determinado ambiente irá gerar devido à ação de um tensor antrópico, sendo que a sensibilidade de cada ambiente varia em função de sua importância social, econômica, biológica e geomorfológica, estando relacionada ao potencial de degradação que o ecossistema possa vir a sofrer (ALENCAR, 2003).

Esta definição de sensibilidade segue metodologia específica e tem em seu escopo variáveis geomorfológicas e hidrodinâmicas que acabam por determinar o comportamento do óleo em diversos tipos de ambientes. Uma das variáveis mais importantes deste processo em praias arenosas e lamosas é a análise granulométrica destes ambientes.

No extremo sul do Brasil localiza-se a Bacia Sedimentar de Pelotas, a qual teve o seu mapeamento de sensibilidade ao óleo finalizado em 2016 por meio do projeto “Mapeamento da Sensibilidade ao Óleo do litoral da Bacia de Pelotas (Cartas SAO)”. Tal projeto teve como objetivo definir a localização e os limites de áreas ecologicamente sensíveis com relação à poluição causada por derramamento de óleo nesta bacia sedimentar (MMA, 2016).

O presente trabalho se insere nesse contexto de mapeamento e buscou analisar e discutir alguns aspectos específicos da metodologia oficial de mapeamento das Cartas SAO, com foco em características particulares de ambientes que acabam por não serem devidamente consideradas pela metodologia oficial do MMA.

Tais características são referentes à dinâmica física da porção brasileira da bacia sedimentar marítima de Pelotas e incluem a granulometria das amostras sedimentares coletadas superficialmente nas faces de praias oceânicas, lagunares e estuarinas, bem como os processos hidrodinâmicos envolvidos no sistema.

Desta forma, a presente pesquisa visa apresentar e discutir os resultados das análises granulométricas realizadas no âmbito do projeto Cartas SAO-Pelotas, contextualizando-os no escopo da classificação oficial da sensibilidade ambiental ao óleo, ilustrando as discrepâncias do método em relação à dinâmica atuante na área de estudo.

## **2. As Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de Óleo (CARTAS SAO)**

As Cartas SAO são utilizadas como ferramenta nos Planos de Contingência, nas operações de combate a derramamentos de óleo e no planejamento ambiental, a partir da avaliação de recursos que possam estar em risco, auxiliando na definição de locais de instalação de empreendimentos para a indústria do petróleo (VASCONCELOS, 2010). Sua metodologia foi adaptada de Araújo *et al.* (2004) tendo como base o escopo metodológico da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e segue as "Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo - Cartas SAO" (MMA, 2007).

As cartas das bacias sedimentares marítimas são organizadas em um Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo e devem atender a todos os níveis de derramamentos de óleo, que consolidados de acordo com um plano cartográfico, definem as prioridades do mapeamento (MMA, 2007), e são compostas basicamente por: cartas estratégicas (de abrangência regional / bacia marítima), cartas táticas (de escala intermediária / recobrando todo o litoral da bacia) e cartas operacionais ou de detalhe (locais de alto risco / sensibilidade).

Estes atlas devem conter informações biológicas, socioeconômicas, geomorfológicas e hidrodinâmicas sobre os ecossistemas costeiros. Crucial apontar que tais informações são utilizadas de formas distintas na definição da sensibilidade ao óleo. Esta definição está vinculada a um índice específico, denominado Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). Este índice é composto basicamente pelas características geomorfológicas dos trechos de litoral analisados. A classificação do ISL é traduzida em uma escala de 1 a 10, expressando a sensibilidade relativa da costa ao impacto causado pelo contato com a mancha de óleo, ao passo que quanto menos sensível o ambiente, menor o seu índice.

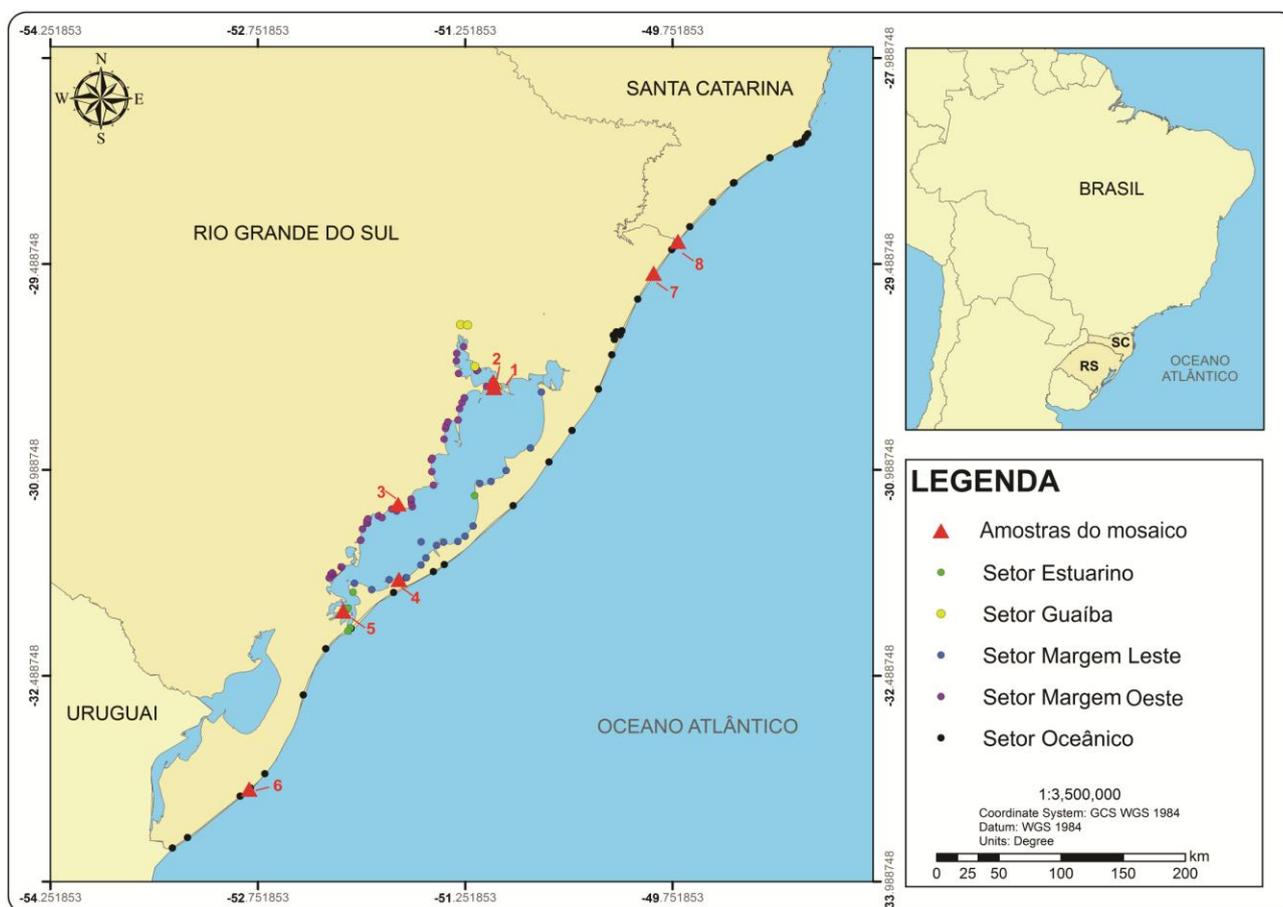
A classificação é aplicada aos ambientes após a avaliação do grau de exposição do litoral à energia de ondas e marés, declividade do litoral, tipo de substrato e comportamento do óleo. As informações sobre os aspectos biológicos e socioeconômicos são secundárias, não compondo a definição do índice. Esta é uma fragilidade tratada em diversos trabalhos, como por exemplo, os de (WIECZOREK *et al.*, 2007; CANTAGALLO *et al.*, 2008; PINCINATO *et al.*, 2009; SOUZA FILHO *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2010; MULER *et al.*, 2011; MARINHO e NICOLODI, 2019).

Ainda que diversas adaptações tenham sido propostas, a principal variável continua sendo o grau de exposição à energia de ondas e marés, que irá, juntamente com as características do substrato, determinar o tempo de permanência do óleo e suas diretrizes para limpeza. Além de variáveis hidrodinâmicas, as características geomorfológicas associadas ao perfil de praia são determinantes neste processo, com destaque para a declividade da praia e sua granulometria. Em relação à declividade do litoral, estas são classificadas como alta (maior que 30°), moderada (entre 30° e 5°) e pequena (menor que 5°), determinando, a priori, a área de contato com o óleo. Assim, faces de praia com maior declividade terão menores áreas de contato e faces com menor declividade terão suas áreas de contato aumentadas, permitindo o espalhamento do óleo por maiores distâncias (MMA, 2007).

Por fim, o tipo de substrato estabelece uma correlação direta com a infiltração e, portanto, com a permanência do óleo. Em substratos inconsolidados, como as praias arenosas, quanto maior o diâmetro dos grãos maior será a penetração. Em praias de cascalho a penetração de óleo pesado pode chegar até um metro e os substratos consolidados tendem a ser mais impermeáveis (OLIVEIRA e NICOLodi, 2016).

### 3. Área de estudo

Este trabalho está vinculado ao objeto do projeto ‘Cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo – Cartas SAO - Bacia de Pelotas’ (MMA, 2016), o qual teve como área de estudo a linha de costa da porção brasileira da bacia sedimentar de Pelotas, juntamente com segmentos de praias das margens do sistema lagunar Patos-Guaíba, conforme a **Figura 1**. Já a **Figura 2** consiste em um mosaico de fotografias com alguns exemplos dos ambientes sedimentares analisados ao longo do litoral da Bacia de Pelotas.



**Figura 1:** Mapa da área de estudo, setorizado com seus respectivos pontos amostrais distribuídos ao longo do litoral. Os pontos em vermelho (triângulos) indicam as amostras que são ilustradas em um mosaico de fotografias (figura 2) e sua numeração correspondente.



**Figura 2:** Mosaico de fotografias com exemplos dos ambientes sedimentares analisados ao longo do litoral da Baía de Pelotas. A localização das mesmas pode ser observada pelos triângulos vermelhos na **Figura 1**.

A Bacia de Pelotas localiza-se no extremo sul da margem continental brasileira, entre a latitude 28°30'S (Cabo de Santa Marta- SC) e 34°S (Barra do Chuí) (SILVEIRA e MACHADO, 2004). Seus limites geológicos são o Alto de Florianópolis (norte) e o Alto de Polônio (sul), na plataforma continental do Uruguai. A porção brasileira da bacia abrange área de 210.000 km<sup>2</sup> entre a costa e a cota batimétrica de 2000 m. Devido às características geológicas da bacia, tal área apresenta uma unidade geomorfológica bem definida, a Planície Costeira do sul do país, resultante das dinâmicas tectônica, hidrográfica, intempérica, oceanográfica e sedimentar.

A planície costeira do Rio Grande do Sul tem como sua base uma plataforma continental extensa, rasa e de baixo declive, retrabalhada constantemente pelas forças oceanográficas, principalmente por ondas e correntes. É caracterizada por uma extensa costa exposta, arenosa quartzosa, com aproximadamente 615 quilômetros de extensão, formando o sistema deposicional barreira-laguna, datado de períodos pleistoceno e holoceno (VILLWOCK e TOMAZELLI, 1995). O substrato desta região é composto por sedimentos praias, eólicos e lacustres estendendo-se de Torres até o Chuí (TOMAZELLI, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Já a porção do litoral de Santa Catarina inserido na Bacia Sedimentar de Pelotas é configurada por praias de enseadas e pontais rochosos cristalinos, oriundos da Serra do Mar, e que são ancorados por uma Plataforma Continental mais curta, profunda e com altos declives (CPRM, 2003). Porém, a porção sul da linha de costa catarinense mantém uma conformidade geomorfológica com a continuação do segmento retilíneo arenoso e de baixos declives que compõe a planície costeira do Rio Grande do Sul.

Quatro aberturas permanentes promovem o encontro de águas continentais com águas marinhas, sendo elas a foz do rio Mampituba, divisa com Santa Catarina, a Laguna de Tramandaí - litoral norte do RS, a barra da desembocadura da laguna dos Patos em Rio Grande e o arroio Chuí na fronteira com o Uruguai. Este ambiente é relevante também por abrigar um conjunto de corpos aquáticos, com destaque para o Sistema Guaíba-Patos-Mirim, um complexo sistema interligado que engloba feições deltaicas, lacustres, lagunares, estuarinas e costeira (BAITELLI *et al.*, 2009). O regime hidrodinâmico desse sistema é distinto na época de cheias e de estiagem, sendo que as relações de causa e efeito dos diversos fatores que intervêm em seu escoamento, em especial a influência dos ventos, demonstram que o Lago Guaíba não é só um canal de extensão de seus tributários, mas um tipo de reservatório, intimamente ligado à Laguna dos Patos, a qual por sua vez, é interligada com a Lagoa Mirim por meio do Canal São Gonçalo (NICOLODI *et al.*, 2013).

O clima local é subtropical úmido, definido pela variação sistemática de temperatura, pluviosidade e dinâmica eólica ao longo das estações do ano, decorrentes da atuação de massas de ar tropical marítima, mais frequente na primavera e no verão e massas de ar polar marítima, que predominam no outono e inverno (MAIA *et al.*, 2016). A dinâmica eólica é influenciada pelo regime de ventos de nordeste, associado a um anticiclone sobre o Oceano Atlântico localizado em torno de 30°S, durante as estações primavera e verão. Em períodos de outono e inverno, a frequência da passagem de sistemas frontais do quadrante sul aumenta e os ventos com mesma orientação também, tal dinâmica influencia distintamente o comportamento do sistema oceânico e do sistema lagunar (CASTELÃO e MÖLLER, 2003).

#### 4. Metodologia

A metodologia empregada na realização deste trabalho tem como premissa conceitual o método indutivo como base para o raciocínio utilizado, pois parte da análise das particularidades sedimentológicas da área de estudo e coloca a generalização como um produto posterior à análise de dados particulares. Nesse contexto, a pesquisa buscou comparar o método de análise específico aqui utilizado com o método oficial para a classificação do ISL (MMA, 2007) para a Bacia de Pelotas, já que este usa o método dedutivo, o qual parte da generalização do ambiente para inferir o seu comportamento ao óleo e seus derivados (GIL, 2007).

Foram realizadas diversas saídas de campo para as amostragens de sedimentos, totalizando 120 pontos de coletas distribuídos ao longo da área de estudo em diversos tipos de ambientes sedimentares, como praias oceânicas, lagunares e estuarinas. Estas amostras foram setorizadas visando uma melhor descrição de suas características granulométricas e posterior interpretação. Desta forma, a área foi dividida em cinco setores: setor oceânico (50 pontos amostrais); setor estuarino (5 pontos amostrais), setor margem leste (20 pontos amostrais), setor margem oeste (37 pontos amostrais) e setor Guaíba (8 pontos amostrais) – **Figura 1**.

Posteriormente foram realizadas técnicas laboratoriais para o processamento das amostras seguindo o método de análise granulométrica descrito por SUGUIO (1973), onde foi utilizada a escala de WENTWORTH (1922) com o logaritmo negativo de base 2 da granulometria em milímetro ( $\phi$  (phi)) de Krumbein (1934), bem como o método de decantação de partículas pela Lei de Stokes e a dissolução das partículas carbonáticas por adição de ácido clorídrico. Os procedimentos, resumidamente, consistem em:

lavagem das amostras para total remoção de sais solúveis, secagem em estufa com temperatura entre 105 e 110°C (para partículas mais grossas) e entre 50 e 60°C (para partículas finas), quarteamento (homogeneização das amostras), e por fim o peneiramento utilizando um conjunto de peneiras com 1/4 de phi, unidade de medida para os tamanhos das partículas (SUGUIO, 1973).

Após o tratamento das amostras sedimentares em laboratório, os dados granulométricos obtidos foram digitalizados em planilhas Excel. As análises estatísticas foram efetuadas através do software de código livre R (LANDEIRO, 2011). Para as análises granulométricas foi utilizado o pacote Rysgran (GILBERT *et al.*, 2014), o qual contém funções para a análise de amostras de tamanho de grão em escalas logarítmica (phi) e geométricas (micrômetros) com base em vários métodos, como FOLK e WARD (1957) e Métodos de Momentos (TANNER, 1995), entre outros. As classificações e distribuição texturais dos sedimentos foram apresentados na forma de histogramas, gráficos bivariados e diagramas ternários de Shepard e Pejrup (GILBERT *et al.*, 2014).

Dentre estes métodos, foi priorizado a utilização da escala logarítmica proposta por FOLK e WARD (1957), o qual determina que para análises granulométricas, a média do diâmetro do grão é apresentada como a medida central mais eficaz para representar tanto distribuições normais quanto bimodais e/ou polimodais (SUGUIO, 1973). Os mesmos autores sugerem que o uso da mediana pode não ser realmente representativo para distribuições não normais, portanto a análise desse parâmetro foi descartada neste estudo. A metodologia adotada considera a média do 1/3 mais grosso da amostra ( $\phi$  16); a do 1/3 intermediário ( $\phi$  50) e a do 1/3 mais fino ( $\phi$  84), disponibilizando uma visão mais completa da curva de distribuição.

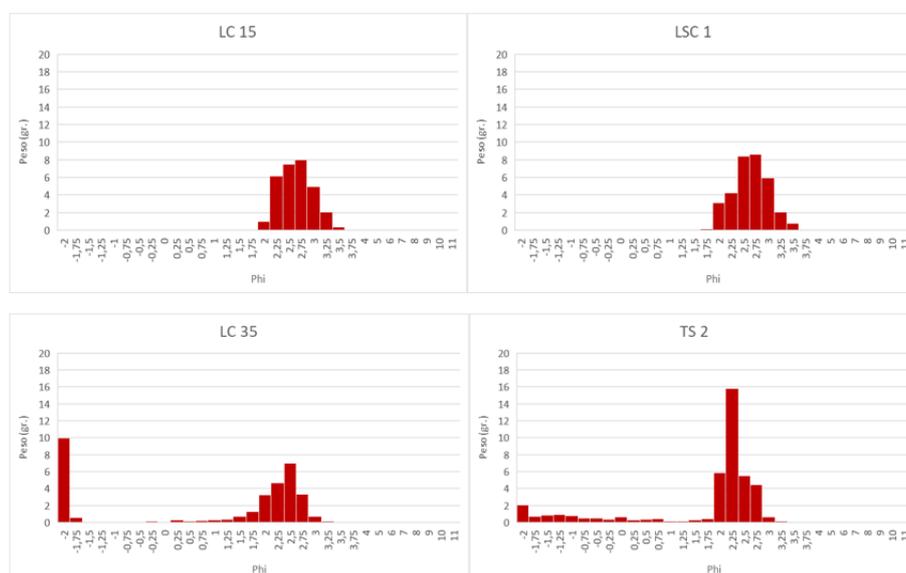
Outro aspecto relevante para análises granulométricas é o desvio padrão ( $\sigma$ ) ou grau de seleção e pode ser usado como uma medida de dispersão das amostras em torno de sua média. FOLK e WARD (1957) utilizaram os percentis de 95% e 5% das distribuições nas medidas de seleção, e segundo SUGUIO (1973) a relação fornece um valor de desvio padrão bastante aproximado do desvio padrão matematicamente calculado.

Assim, foram considerados como principais parâmetros analisados nessa pesquisa, a média e o desvio padrão das amostras sedimentares, pois demonstram claramente à classe de tamanho e o grau de seleção as quais pertencem. Como produtos foram gerados dados numéricos, classificações e histogramas, que serão a base para a descrição granulométrica dos setores apontados na **Figura 1**.

## 5. Resultados

### 5.1 Setor oceânico

O setor oceânico compreende 50 amostras sedimentares da linha de costa oceânica da bacia de Pelotas, desde o Cabo de Santa Marta (SC) até o Arroio Chuí (RS). Os dados granulométricos e estatísticos apontam para um pacote sedimentar bastante homogêneo, com o tamanho médio do diâmetro dos grãos entre  $\phi$  0.8029 e 3.0093, entre areia grossa e areia muito fina, respectivamente (**Figura 3**).



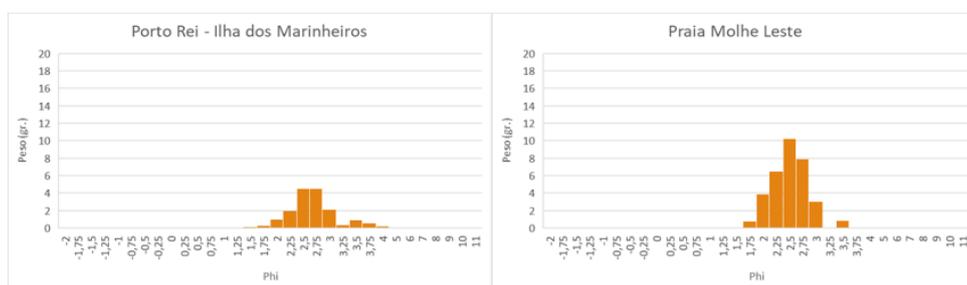
**Figura 3:** Distribuições granulométricas de amostras sedimentares superficiais de faces de praias do setor oceânico.

A classe de areia fina, mais abundante no setor, contém tamanhos médios entre  $\phi$  2.9123 e 2.0191 e a classe de areia média  $\phi$  1.9841 e 1.1421. Em percentuais, foram obtidos 86% das amostras classificadas em areia fina, 10% em areia média, 2% areia muito fina e 2% areia grossa. No que diz respeito à porcentagem de amostras classificadas em areia média, estas se referem à região da praia dos Concheiros do Albardão, extremo sul do país, e a Laguna de Tramandaí (**Figura 3**).

De acordo com a análise dos dados expostos nos histogramas, claro está que de forma geral as amostras apresentam um único comportamento senoidal, isso significa que são distribuições próximas à normalidade e que apresentam uma máxima frequência, característica que remete amostras unimodais, isto é, com apenas um tamanho de partícula predominante. As exceções são representadas pelas amostras LC 35 (Figura. 2), LC 36 e LC 37, referentes a praia dos Concheiros do Albardão, onde as distribuições apresentam partículas melhores distribuídas ao longo da sua escala  $\phi$ , caracterizando-as como bimodais ou polimodais.

### 5.2 Setor lagunar estuarino

Este setor compreende 5 amostras sedimentares de praias do estuário da Lagoa dos Patos, localizadas próximas à desembocadura do complexo lagunar Patos-Guaíba, em que a classe de areia fina predomina em 100% das amostras estuarinas e seus graus de seleção apresentam uma variação entre  $\sigma$  0.2284 e 0.4912. Estes graus de seleção classificam 83% das amostras como muito bem selecionadas e 17% como bem selecionadas. O diâmetro médio das distribuições varia entre  $\phi$  2.1201 e 2.5176. Os histogramas, expostos na **Figura 4**, apresentam as distribuições de frequências simples para este setor e também retomam a distribuições normais, com apenas uma curva senoidal e apenas um diâmetro de partícula mais frequente.

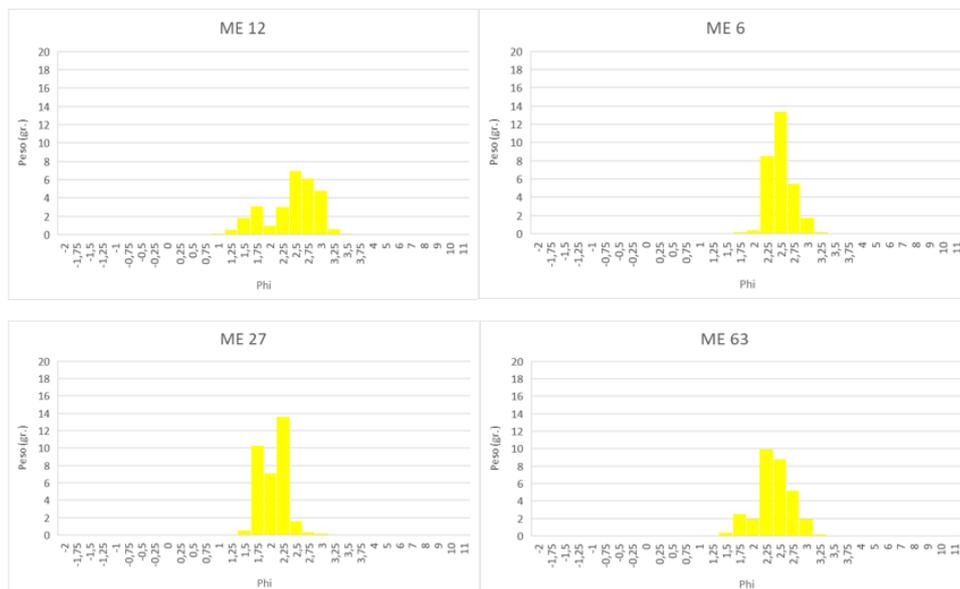


**Figura 4:** Distribuições granulométricas de amostras sedimentares superficiais de faces de praias do setor lagunar estuarino.

### 5.3 Setor lagunar margem leste

Este setor compreende 20 amostras sedimentares de praias da margem leste do complexo lagunar Patos-Guaíba, desde a Lagoa do Casamento (extremidade norte do complexo) até a região estuarina (limite sul). Os dados indicam que 80% das amostras presentes neste setor são compostas basicamente por areia fina e 20% por areia média. Estas composições granulométricas apresentam-se muito bem selecionadas em 90% das amostras, 5% delas são bem selecionadas e 5% são consideradas moderadamente bem selecionadas, com seu grau de seleção variando entre  $\sigma$  0.2055 e 0.5388. Quanto ao diâmetro médio das partículas, para a classe predominante areia fina a variação ficou entre  $\phi$  2.0339 e 2.5930, ao passo que para a classe areia média a variação retomou valores de  $\phi$  entre 1.9140 e 1.9935.

Os histogramas (**Figura 5**) seguintes demonstram o comportamento das distribuições granulométricas, e apontam, como nos setores descritos anteriormente, distribuições muito próximas à normalidade estatística e com apenas uma classe modal de diâmetro das partículas. A classificação da seleção deste setor também é evidenciada ao dispersarem-se pouco do seu tamanho médio de grão.

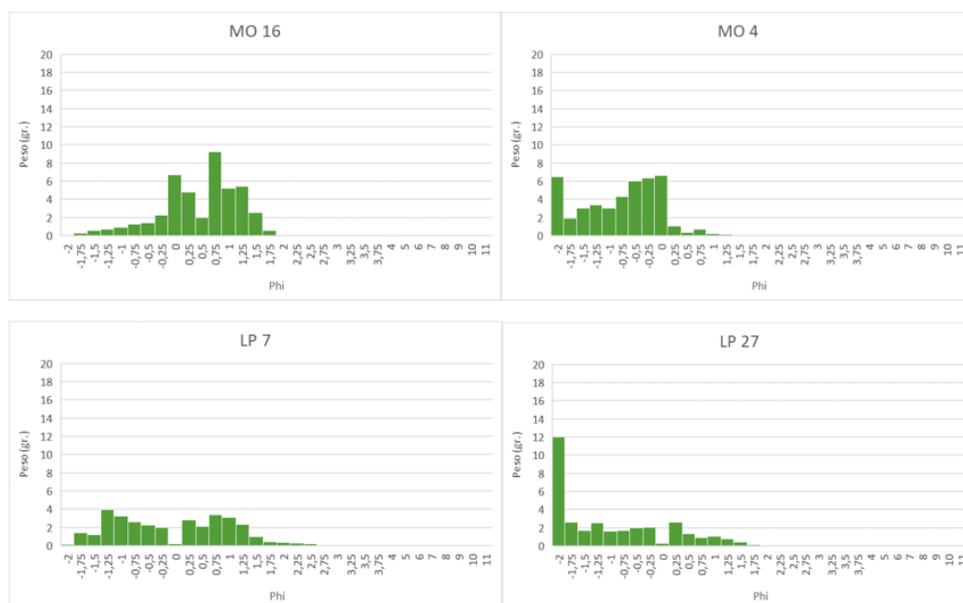


**Figura 5:** Distribuições granulométricas de amostras sedimentares superficiais de faces de praias do setor lagunar margem leste.

#### 5.4 Setor lagunar margem oeste

Este setor compreende 37 amostras sedimentares de praias da margem oeste do complexo lagunar Patos-Guaíba, desde a praia do Laranjal (limite sul do setor); no Município de Pelotas, até o início das margens do Guaíba.

Sua composição apresenta 29% de amostras muito bem selecionadas, 11% bem selecionadas, 16% moderadamente bem selecionadas, 20% moderadamente selecionadas e 24% de suas amostras são pobremente selecionadas. As classes de partículas componentes deste setor são 40% areia grossa, 18% areia muito grossa, 27% areia média, 13% areia fina e 2% grânulo. Tais informações são expressas graficamente nos histogramas (**Figura 6**), onde se pode analisar o comportamento das curvas de distribuições.



**Figura 6:** Distribuições granulométricas de amostras sedimentares superficiais de faces de praias do setor lagunar margem oeste.

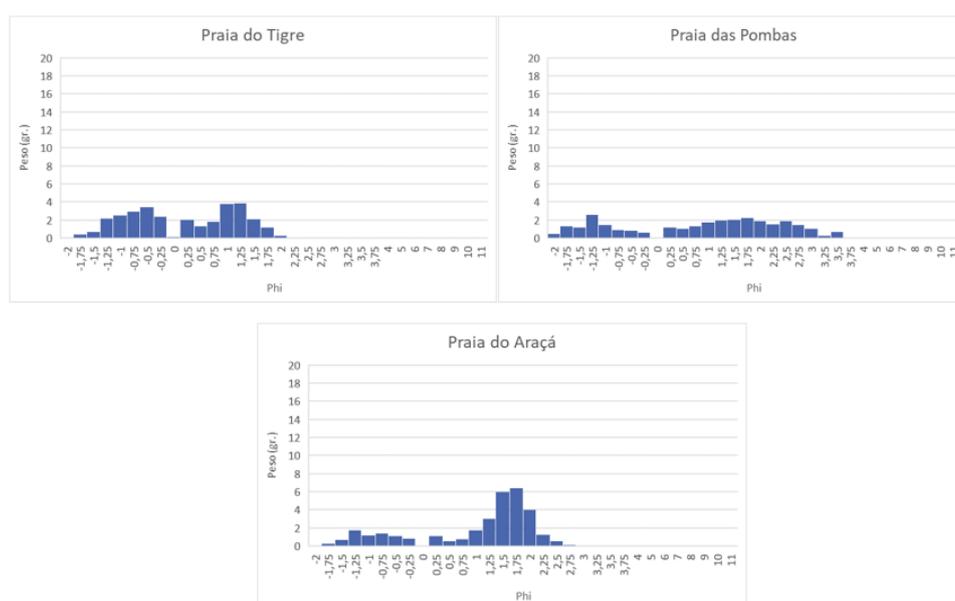
As médias para o diâmetro das partículas estão entre  $\phi$  -0.9838 e -0.2172 para a classe de areia muito grossa,  $\phi$  -1.0926 para grânulo,  $\phi$  0.9413 e 0.0158 para areia grossa,  $\phi$  1.9113 e 1.0275 para areia média e, para a classe de areia fina; a média de seu diâmetro ficou entre  $\phi$  2.5014 e 2.0420. O grau de seleção para

este setor apresentou bastante variação entre o valor mais baixo (muito bem selecionado) de desvio padrão  $\sigma$  0.2479 e o seu valor mais alto  $\sigma$  1.8083 (pobremmente selecionado).

### 5.5 Setor lagunar Guaíba

Para finalizar as descrições granulométricas setoriais são apresentados dados sobre 8 amostras das faces de praias do setor Guaíba as quais também remontam à ambientes de granulometria consideravelmente heterogênea e que são expostos no relevo de maneira variável. O diâmetro médio dos grânulos teve sua variação entre phi ( $\phi$ ) 0.0602 e 2.1592, enquanto que seu desvio padrão ou grau de seleção ( $\sigma$ ) variou entre os valores 0.2534 e 1.6284. Seu pacote sedimentar é formado por 50% de areia grossa, 37,5% de areia média e 12,5% de areia fina. Quanto aos seus níveis de seleção, este setor é constituído por 37,5% de amostras pobremmente selecionadas, 37,5% de amostras moderadamente selecionadas, 12,5% moderadamente bem selecionadas e 12,5% muito bem selecionadas.

Esta variação granulométrica remete a algumas curvas não uniformes e que apresentam mais de uma classe modal em sua composição. O grau de dispersão também pode ser visualizado nos histogramas (**Figura 7**), onde são demonstradas frequências significativas em mais de uma classe de partículas para a maioria das amostras, subsidiando graficamente os dados numéricos.



**Figura 7:** Distribuições granulométricas de amostras sedimentares superficiais de faces de praias do setor lagunar Guaíba.

## 6. Discussão

Considerando a classificação do método oficial do MMA (2007), o qual considera o grau de exposição da costa à energia de ondas e marés, a declividade do litoral, o tipo de substrato e o comportamento do óleo para a definição dos índices, as amostras analisadas foram contextualizadas em relação aos segmentos costeiros arenosos da região de estudo. Na referida metodologia o ISL é vinculado aos seguintes tipos de ambientes praias (**Tabela 1**).

**Tabela 1:** Relação do ISL com os tipos de ambientes praias.

| Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) | Tipo de ambiente  |
|--|---|
| ISL 3                                    | Praias dissipativas de areia média a fina, expostas;                                      |
| ISL 4                                    | Praias de areia grossa, de areia fina a média, expostas, de areia fina a média, abrigadas |
| ISL 5                                    | Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais                      |
| ISL 6                                    | Praias de cascalho (seixos e calhaus), costa de detritos calcários                        |

Fonte: Adaptado de MMA (2007).

Quando considerada a relação direta dos resultados apresentados no tópico anterior com a metodologia oficial (MMA, 2007), obtêm-se a seguinte classificação da sensibilidade das praias:

- i. Setor oceânico: 98 % das praias são expostas, dissipativas, constituídas por areia fina e média, classificadas em ISL 3. Os 2% restantes são classificadas em ISL 5 e referem-se à região dos Concheiros do Albardão e à Laguna de Tramandaí, pois são constituídas por areia fina; média; grossa e conchas (CALLIARI e KLEIN, 1993; TOLDO *et al.*, 1993; CALLIARI *et al.*, 2005; TABAJARA *et al.*, 2008);
- ii. Setor lagunar estuarino: 100% das praias são compostas por areia fina e são abrigadas, portanto são classificadas com ISL 4;
- iii. Setor lagunar margem leste: 80% das praias são compostas por areia fina e os outros 20% por areia média, são consideradas dissipativas e, expostas; apesar de estarem em águas interiores, devido à extensão do corpo lagunar (MMA, 2016). Assim, são classificadas como ISL 3;
- iv. Setor lagunar margem oeste: sua composição apresenta 40% das praias compostas por areia grossa, 18% areia muito grossa, 27 % areia média, 13% areia fina e 2% grânulo, são uma mistura de faces refletivas e dissipativas (MMA, 2016), de acordo com o tamanho do grão, e também consideradas expostas, levando a uma classificação bem variada, com ISL 3; ISL 4 e ISL 5;
- v. Setor lagunar Guaíba: apresenta 50% de praias constituídas por areia grossa, 37,5% por areia média e 12,5% por areia fina. Também possui faces de praia refletivas e dissipativas, variando de acordo com o tamanho da partícula que a constitui, além de serem consideradas abrigadas (NICOLODI e TOLDO, 2003). Desta forma, têm-se uma classificação com ISL 4 e ISL 5.

Tal classificação é pertinente em relação ao ISL proposto pelo MMA, mas, quando analisada sob alguns aspectos específicos podem gerar discrepâncias entre o que é mapeado e o ambiente sedimentar em si.

Nesse aspecto, um fator importante a ser considerado na definição de sensibilidade é o nível de permeabilidade dos ambientes, propriedade definida como a capacidade que o substrato possui de permitir a passagem de fluidos através dele sem que haja deformações estruturais ou deslocamento relativo das suas partes componentes (SUGUIO, 2003).

O coeficiente de permeabilidade 'K' é utilizado para quantificar essa propriedade e obtido através da relação entre a velocidade do fluxo ou vazão do fluido que passa através de uma amostra de substrato. Também são adicionados a esta relação o gradiente de pressão e a viscosidade do fluido. Este coeficiente, denominado Número de Darcy, no que diz respeito a sedimentos inconsolidados, é afetado pela granulometria, pelo seu grau de seleção, pela forma das partículas e pela disposição espacial das mesmas no relevo (SUGUIO, 2003).

Oliveira e Nicolodi (2016) analisaram a permeabilidade do óleo cru em diversos ambientes sedimentares da bacia de Pelotas e em locais próximos àqueles onde foram coletadas as amostras utilizadas nesta pesquisa. Os autores demonstram a existência de consistentes correlações entre a constituição bi/polimodal de pacotes sedimentares, as variações na distribuição espacial das partículas em condições energéticas distintas e a permeabilidade dos ambientes.

Uma das questões centrais dessa relação é o fato da metodologia oficial do MMA considerar maiores valores de permeabilidade para sedimentos grossos e uniformes (substratos bem selecionados) e menores valores de permeabilidade para sedimentos pouco selecionados (praias mistas de areia e cascalho). Tal consideração pode gerar diferentes interpretações em relação ao comportamento do óleo nos ambientes afetados, necessitando ser amplamente discutidas e aperfeiçoadas.

A lógica aplicada na metodologia oficial das Cartas SAO faz sentido teoricamente, pois o esperado é que as partículas mais finas ocupem os espaços (poros) entre as maiores granulações. Porém, discordante da interpretação do MMA de que penetrações maiores são esperadas para substratos bem selecionados e menores para substratos pouco selecionados, Pryor (1973) demonstrou que essa relação se confirma em areias fluviais, mas que para areias de dunas e de praias, as quais são anômalas, a permeabilidade é crescente com o decréscimo da seleção granulométrica.

Em praias que apresentam altas seleções granulométricas, como é o caso – salvo algumas exceções – dos setores oceânico, lagunar estuarino e lagunar margem leste, pode-se considerar a classificação atribuída pelo ISL como representativa, pois os pacotes sedimentares para estes setores são compostos basicamente por areia fina, e mesmo com as mudanças hidrodinâmicas que ocorrem no ambiente, espera-se a deposição dos mesmos tamanhos de partícula e, portanto, a distribuição espacial dos sedimentos não variará do ponto de vista de sua classificação granulométrica e sua permeabilidade será baixa e constante.

Discrepâncias entre as considerações da metodologia do ISL e o comportamento dos ambientes podem ser mais claras em regiões como os Concheiros, onde as amostras apresentam maior variabilidade granulométrica devido à grande quantidade de sedimentos biotécnicos e clásticos de tamanhos médios, finos e grossos. Neste contexto, Costi *et al.* (2008) e Pereira (2005) atestam maiores permeabilidades justamente para a região dos Concheiros do Albardão - a qual apresenta distribuições granulométricas polimodais pobremente selecionadas; com praias de pendente mais inclinada e com tendências reflectivas. Já menores permeabilidades em praias foram encontradas nas adjacências da desembocadura da Lagoa dos Patos, onde a classe predominante é areia muito fina, pendentes suaves e estágio dissipativo (CALLIARI e KLEIN, 1993; NICOLODI *et al.*, 2002; CALLIARI *et al.*, 2005).

Já nos setores Lagunar Margem Oeste e Lagunar Guaíba, as amostras apresentam maior variabilidade nas distribuições dos sedimentos, distinguindo-se dos demais setores que apresentaram uniformidade contínua em suas características. Nestes setores os histogramas remetem curvas bastante distintas das apresentadas nos demais setores, de forma a expressar curvas disformes, com níveis de dispersão relevantes e distribuições onde mais de um diâmetro de partícula apresentam frequências muito próximas, senão as mesmas, de modo a serem consideradas bimodais ou polimodais, como é o caso, por exemplo, das amostras MO4 e Praia das Pombas (ver Figuras 5 e 6), dentre a maioria analisada nestes setores.

Em ambientes onde os substratos possuem baixos graus de seleção, como os setores Lagunares Margem Oeste e Lagunar Guaíba, a disposição das partículas no relevo será um fator fundamental para inferir-se a permeabilidade dos mesmos. Essa disposição não é estática, como a metodologia oficial considera, mas varia de acordo com os níveis de energia atuantes no momento. Dessa forma, a permeabilidade dos ambientes varia também de acordo com o nível hídrico presente e com a intensidade e direção dos ventos atuantes, levando a uma variação também da sensibilidade ambiental. Essas considerações também são apresentadas por Oliveira e Nicolodi (2016), no qual os autores demonstraram - através de testes de permeabilidade com óleo cru - em amostras do sistema lagunar Patos-Guaíba a existência de correlação entre a permeabilidade dos ambientes e a constituição polimodal dos pacotes sedimentares e suas variações na distribuição espacial das partículas em condições energéticas distintas.

O fator nível d'água é preponderante em ambientes lagunares e fluviais. A descarga fluvial presente no sistema lagunar Patos-Guaíba é fruto da variabilidade das precipitações, as quais são determinantes nas oscilações do nível d'água deste corpo lagunar. Se associadas essas variações de nível a forçantes eólicas, identifica-se um empilhamento de água na porção norte do sistema com ventos oriundos do quadrante sul, enquanto ventos de NE causam o rebaixamento do nível na mesma porção e empilhamento na porção sul e em sua margem oeste. Deste modo, as linhas de praia neste sistema são extremamente variáveis e a granulometria exposta ao toque de uma mancha de óleo é, por fim, depositada de acordo com essa dinâmica descrita. Quando o pacote sedimentar é heterogêneo, como nos casos dos setores Lagunar Margem Oeste e Setor Lagunar Guaíba, as características granulométricas dos sedimentos dispostos nas faces de praia concordam com a energia do ambiente no momento, tornando-se difícil uma representatividade eficaz da sensibilidade deste ambiente de forma definitiva, como preconiza o método oficial.

Portanto, em praias compostas por diversos tamanhos de partículas, ou seja, com baixo grau de seleção, há tendência de exposição de sedimentos menores em condições de baixa energia e sedimentos maiores com maiores energias atuantes. Este é um elemento complicador para a definição da sensibilidade via ISL e, para que o método seja eficaz, é importante que se considere todas as variáveis da dinâmica sedimentar dos ambientes, principalmente as que dizem respeito à deposição, pois afetam diretamente a permeabilidade dos pacotes sedimentares.

Desta forma, está clara a necessidade de adaptações que visem tornar o método oficial de definição a sensibilidade do litoral a óleo via ISL (MMA, 2007) mais dinâmico. Uma alternativa que poderia ser almejada neste contexto seria a construção de um ISL sazonal, que avaliasse a disposição sedimentar no relevo de acordo com os níveis de energia atuantes nos ambientes em períodos extremos, de inverno e verão, já que as variações sazonais das condições climáticas distinguem os padrões de transporte e deposição sedimentar em condições de baixa, moderada e alta energia (NORDSTROM, 1977). Outra sugestão seria a

utilização de análises fatoriais na definição da granulometria, as quais consideram a energia dos ventos e ondas, energia da corrente e a energia gravitacional para identificar padrões sedimentares (KLOVAN, 1966).

## 6. Considerações finais

As praias da Bacia Sedimentar de Pelotas possuem uma diferenciação granulométrica expressiva ao longo de sua extensão, tanto em relação aos ambientes oceânicos quanto lagunares. Assim, a necessidade de estudos baseados em dados coletados *in situ* torna-se pertinente para que estes ambientes sejam representados e caracterizados de forma real e significativa.

Tal caracterização é crucial para a definição da sensibilidade ao óleo destes ambientes, sendo que o método oficial para tal análise utiliza-se do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), o qual leva em consideração o grau de exposição da costa à energia de ondas e marés, a declividade do litoral, o tipo de substrato e o comportamento do óleo. Mas, esse índice apresenta algumas lacunas metodológicas, como a distribuição espacial dos sedimentos dentro do mesmo pacote.

Esta distribuição é fortemente identificada em ambientes dinâmicos, os quais são modificados constantemente pelas forças momentâneas atuantes (vento, ondas e correntes), de modo que a variabilidade dessas forças também atue na variabilidade do substrato exposto, mais precisamente na face de praia. Portanto, torna-se necessário correlacionar os fatores determinantes de classificação do ISL, juntamente com as mudanças sazonais dos sistemas atmosféricos e suas consequências diretas nos ambientes sedimentares, para que se obtenha um Índice de Sensibilidade realmente representativo.

Este estudo procurou oferecer subsídios à qualificação do processo de resposta aos incidentes com óleo a partir de descrições sucintas, porém significativas, das características granulométricas das praias presentes na bacia de Pelotas. A partir da contextualização destas características com o Índice de Sensibilidade do Litoral ao óleo (ISL) foi possível identificar a necessidade de uma metodologia que acompanhe as dinâmicas ambientais locais, principalmente quando considerados sistemas lagunares. Dessa forma, pretende-se que a discussão aqui apresentada possa contribuir com o aperfeiçoamento do método oficial para o mapeamento desta variável, que é em última análise, o ponto de partida para uma ação de resposta eficaz por parte de tomadores de decisão frente a incidentes com óleo, podendo ainda contribuir de forma mais ampla no planejamento ambiental das questões referentes à atividade de produção e transporte de petróleo e derivados.

## Referências

- ADLER, E.; INBAR, M. Shoreline sensitivity to oil spills, the Mediterranean coast of Israel: Assessment and analysis. **Ocean & Coastal Management**; v. 50: 24-34. 2007. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2006.08.016
- ALENCAR, C.A.G. **Mapeamento de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo: Estudo de Caso para Icapuí, Ceará**. Dissertação de Mestrado em Política e Gestão Ambiental, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- ANDRADE, M.M.N.; SZLAFSZTEIN, C.F.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ARAÚJO, A.R.; GOMES, M.K.T.A. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. **Journal of Environmental Management**.; v. 91: 1972-1980. 2010. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.04.016
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E COMBUSTÍVEIS. Indicadores de desempenho anuais. 2020. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/dados-de-desempenho/indicadores-de-desempenho>>
- ARAUJO, S.I., SILVA, G.H., CARVALHO, M.T.M. Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo no Sistema Petrobrás. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO. 2.; 2004, Sergipe. **Anais...Aracajú**, 2004, 3 p.
- AZEVEDO, A.; FORTUNATO, A.B.; EPIFÂNIO, B.; DEN BOER, S.; OLIVEIRA, E.R.; ALVES, F.L. JESUS, G.; GOMES, J.L.; OLIVEIRA, A., An oil risk management system based on high-resolution hazard and vulnerability calculations, **Ocean & Coastal Management**, v. 136: 1-18. 2017. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2016.11.014

- BAITELLI, R.; TOLDO JR.; E.E.; MARTINS, L.R.S.; WESCHENFELDER, J.; AYUP-ZOUAIN, R.N. Sistema Lagunar: Síntese dos Conhecimentos sobre a Lagoa dos Patos. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J. C. (Orgs.). 50 Anos de Geologia 1. Porto Alegre: Instituto de Geociências; 2007. 317-325.
- BRASIL. Lei Federal nº 9966/00. **Legislação da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2000.
- CALLIARI, L.J.; KLEIN, A.H.F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **PESQUISAS**; v. 20: 48-56, 1993. DOI: 10.22456/1807-9806.21281
- CALLIARI, L.J.; PEREIRA, P.S.; OLIVEIRA, A.O.; FIGUEIREDO, S.A. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Gravel**; v. 3: 15-30, 2005. ISSN: 1678-5975.
- CANTAGALLO, C.; GARCIA, G.J.; MILANELLI, J.C.C. Mapping environmental oil spill sensitivity of Santos estuarine systems, São Paulo state. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**; 12 (2):33-47, 2008. ISSN 1808-7035.
- CASTELÃO, R. M., MÖLLER JR., O.O. Sobre a circulação tridimensional forçada por ventos na Lagoa dos Patos. **Atlântica**; v. 25 (2): 91-106, 2003.
- COSTI, J.; CALLIARI, L.J. Estimativa do volume sedimentar potencialmente contaminado em casos de derrame de óleo em condições de verão para praias arenosas do Rio Grande do Sul. In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE; 2008, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 2008, 7 p. IBP2079\_08
- BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.G.; BAARS, J.H.; DELGADO, F.J.; ABRAM, I.M.; LEÃO NETO, M.B.; MATOS, R.; SANTOS, G.M.M.; SCHNEIDER, J.O. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: Serviço Geológico do Brasil (CPRM); 2003.
- DUDLEY, B. **BP Statistical Review of World Energy**. 67. ed. London: BP Statistical Review of World Energy; 2018.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**; v. 27: 3-26, 1957. DOI: 10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D
- GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas; 2008.
- GILBERT, E.R.; CAMARGO, M.G.; SANDRINI, L. Grain size analysis, textural classifications and distribution of unconsolidated sediments. Repositório CRAN, 2014. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/rysgran/rysgran.pdf>>
- HELLE, I; LECKLIN, T.; JOLMA, A.; KUIKKA, S. Modeling the effectiveness of oil combating from an ecological perspective – A Bayesian network for the Gulf of Finland; the Baltic Sea. **Journal of Hazardous Materials**; v. 185: 182–192. 2011. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.09.017
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS. Relatório Acidentes Ambientais, 2013. Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/relatorios/acidentes\\_ambientais/ibama-2013-relatorio\\_acidentes\\_ambientais.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/relatorios/acidentes_ambientais/ibama-2013-relatorio_acidentes_ambientais.pdf)>
- ITOPF – OIL TANKER SPILL STATISTICS. Oil Tanker Statistics 2018, 2019. Disponível em: <[https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/Company\\_Lit/Oil\\_Spill\\_Stats\\_2019.pdf](https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_2019.pdf)>
- KLOVAN, J.E. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distributions. **Journal of Sedimentary Petrology**; v. 36 (1): 115-125, 1966. DOI: 10.1306/74D7141A-2B21-11D7-8648000102C1865D
- KRUMBEIN, W.C. Size Frequency Distribution of Sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**; v. 4 (2): 65-77, 1934. DOI: 10.1306/D4268EB9-2B26-11D7-8648000102C1865D

- LANDEIRO, V.L. Introdução ao uso do programa R. Repositório CRAN, 2011. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/doc/contrib/Landeiro-Introducao.pdf>>
- MAGRIS, R.A.; GIARRIZZO, T. Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. **Marine Pollution Bulletin.**; v. 153: 110961, 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.110961
- MAIA, N.Z.; CALLIARI, L.J.; NICOLODI, J.L. Analytical model of sea level elevation during a storm: Support for coastal flood risk assessment associated with cyclone passage. **Continental Shelf Research.**; v. 124: 23-34, 2016. DOI: 10.1016/j.csr.2016.04.012
- MARINHO, C.; NICOLODI, J. L. Integração de parâmetros geomorfológicos e biológicos no desenvolvimento do Índice Integrado de Sensibilidade do Litoral (IISL). **Revista Brasileira de Geografia Física.**; v. 12: 1509-1524, 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.4.p1509-1524
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Especificações e Normas técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo, 2007. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/\\_publicacao/especificacoes\\_normas\\_tecnicas\\_cartas\\_sao.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/_publicacao/especificacoes_normas_tecnicas_cartas_sao.pdf)>
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima de Pelotas. (Org.) Nicolodi, J.L.; Porto Alegre: Ed. Panorama Crítico, 2016. Disponível em: <[https://saopelotas.furg.br/images/stories/ATLAS/Atlas\\_Cartas\\_SAO\\_BMPelotas\\_-\\_baixa-resoluo\\_-\\_FINAL.pdf](https://saopelotas.furg.br/images/stories/ATLAS/Atlas_Cartas_SAO_BMPelotas_-_baixa-resoluo_-_FINAL.pdf)>
- MULER, M.; ROMERO, A.F.; RIEDEL, P.S.; PERINOTTO, R.R.C. Ações de Resposta para Emergência em caso de Derrames de Óleo no Mar e Proposta de Implementação de Sistema de Informação voltado à Sensibilidade Ambiental para o Litoral Sul Paulista, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada.**; v. 11(4): 397-407, 2011. DOI:10.5894/rgci250
- NELSON, J.R.; GRUBESIC, T.H. Oil spill modeling: Risk, spatial vulnerability, and impact assessment. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment.**; v. 42 (1): 112-127, 2017. DOI: 10.1177/0309133317744737
- NICOLODI, J.L.; TOLDO JR., E. E. Beach morphodynamics: a tool for coastal habitat managers. A case study: Praia de Fora, Itapuã State Park, RS. **Natureza & Conservação.**; v. 1 (2): 66-75, 2003. ISSN: 1679-0073. Disponível em: <[https://gaigerco.furg.br/images/Arquivos-PDF/Pginas\\_de\\_artigo\\_boticario\\_\\_Nicolodi\\_e\\_Toldo.pdf](https://gaigerco.furg.br/images/Arquivos-PDF/Pginas_de_artigo_boticario__Nicolodi_e_Toldo.pdf)>
- NICOLODI, J.L.; TOLDO JR., E.; FARINA, L. Dynamic and resuspension by waves and sedimentation pattern definition in low energy environments. Guaíba lake (Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography.**; v. 61 (1): 55-64, 2013. DOI: 10.1590/S1679-87592013000100006
- NORDSTROM, K.F. The use of grain size statistics to distinguish between high and moderate energy beach environments. **Journal of Sedimentary Petrology.**; v. 47 (3): 1287-1294, 1977. DOI: 10.1306/212F731F-2B24-11D7-8648000102C1865D
- OLIVEIRA, E.B.; NICOLODI, J.L. Oil permeability variations on lagoon sand beaches in the Patos-Guaíba system in Rio Grande do Sul, Brazil. **Marine Pollution Bulletin.**; v. 115 (1-2): 154-163, 2016. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.12.020
- OLIVEIRA, E.B.; NICOLODI, J.L.; MARINHO, C.; MACHADO JR., V.C. Caracterização sedimentológica da praia de Arambaré, Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia.**; v. 19 (4): 665-678, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i4.1156
- PARVIAINEN, T.; LEHIKONEN, A.; KUIKKA, S.; HAAPASAARI, P. Risk frames and multiple ways of knowing: Coping with ambiguity in oil spill risk governance in the Norwegian Barents Sea. **Environmental Science & Policy.**; v. 98: 95-111, 2019. DOI: 10.1016/j.envsci.2019.04.009

PEREIRA, P. S. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/handle/1/3498>>

PINCINATO, F.L.; RIEDEL, P.S.; MILANELLI, J.C. Modelling an expert GIS system based on knowledge to evaluate oil spill environmental sensitivity. **Ocean & Coastal Management.**; v. 52 (9): 479–486, 2009. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2009.08.003

PRYOR, W.A. Permeability-porosity patterns and variations in some Holocene sand bodies. **AAPG Bulletin.**; v. 57 (1): 162-189, 1973. DOI: 10.1306/819A4252-16C5-11D7-8645000102C1865D

ROMERO, Á.F.; RIEDEL, P.S.; MILANELLI, J.C.C.; LAMMARTO, A.C.R. Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo - um estudo de caso na Baía de Santos, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia.**; v. 63 (3): 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43742/23006>>

SILVEIRA, D.P.; MACHADO, M.A.P. Bacias sedimentares brasileiras: Baía de Pelotas. **Boletim informativo da Fundação Paleontológica Phoenix.**; v. 6 (63), 2004.

SOARES, M.O.; TEIXEIRA, C.E.P.; BEZERRA, L.E.A.; PAIVA, S.V.; TAVARES, T.C.L.; GARCIA, T.M.; ARAÚJO, J.T.; CAMPOS, C.C.; FERREIRA, S.M.C.; MATTHEWS-CASCON, H.; FROTA, A.; MONT'ALVERNE, T.C.F.; SILVA, S.T.; RABELO, E.F.; BARROSO, C.X.; FREITAS, J.E.P.; MELO JÚNIOR, M.; CAMPELO, R.P.S.; SANTANA, C.S.; CARNEIRO, P.B.M.; MEIRELLES, A.J.; SANTOS, B.A.; OLIVEIRA, A.H.B.; HORTA, P.; CAVALCANTE, R.M. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy.**; v. 115: 103879, 2020. DOI: 10.1016/j.marpol.2020.103879

SOUZA FILHO, P.W.M.; PROST, T.R.C.; MIRANDA, A.F.P.; SALES, M.E.C.; BORGES, S.H.V.; COSTA, F.R.; ALMEIDA, E.F.; NASCIMENTO JR., W.R. Environmental Sensitivity Index (ESI) mapping of oil spill in the Amazon coastal zone: the PIATAM mar project. **Revista Brasileira de Geofísica.**; v. 27 (1): 7-22, 2009. DOI: 10.1590/S0102-261X2009000500002

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo, SP: Editora Blücher; 1973.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** São Paulo, SP: Editora Blücher; 2003.

TABAJARA, L.L.C.A.; ALMEIDA, L.E.S.B.; MARTINS, L.R. Morfodinâmica Bi-Tridimensional de Praia e Zona de Surfe Intermediária-Dissipativa no Litoral Norte – RS. **GRAVEL.**; v. 6 (1): 81-97, 2008. ISSN: 1678-5975.

TANNER, W.F. **Environmental clastic granulometry.** Florida: Geological Survey, 1995.

TOLDO JR., E.E.; DILLENBURG, S.R.; ALMEIDA, L.E.S.B.; TABAJARA, L.L.; MARTINS, R.R.; CUNHA, L.O.B.P. Parâmetros Morfodinâmicos da Praia de Imbé – RS. **PESQUISAS.**; v. 20 (1): 27-32, 1993. ISSN: 0100-5375.

TOMAZELLI, L.J.; VILLWOCK, J.A. Mapeamento Geológico de Planície Costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. **GRAVEL.**; v. 3: 109-115, 2005. Disponível em: <[http://colossus.ufrgs.br/gravel/3/Gravel\\_3\\_11.pdf](http://colossus.ufrgs.br/gravel/3/Gravel_3_11.pdf)>

VASCONCELOS, T. L.; BARBOSA, C. C. A.; VALDEVINO, D. S.; SÁ, L. A. C. M. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo e sua distribuição no Brasil. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA GEO-INFORMAÇÃO (SIMGEO), 3.; 2010, Recife. **Anais...** Recife, PE.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology.**; v. 30: 377-392, 1922. DOI: 10.1086/622910

WIECZORECK, A.; DIAS-BRITO, D.; MILANELLI, J.C. Mapping oil spill environmental sensitivity in Cardoso Island State Park and surroundings areas, São Paulo, Brazil. **Ocean & Coastal Management.**; 50: 872-886, 2007. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2007.04.007

VILLWOCK, J.A.; TOMAZELLI, L.J. Geologia costeira do Rio Grande do sul. **Notas técnicas**, v. 8: 1-45, 1995.



BY



NC



SA

Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual* (CC BY-NC-SA).