

# Revista de Gestão Costeira Integrada

*Journal of Integrated Coastal  
Zone Management*

**Volume 22(4): December 2022**

ISSN 1646-8872





# Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal  
Zone Management



## Volume 22, Issue 4 December 2022

### Editorial Board

**Francisco Taveira Pinto**  
Editor-in-Chief  
<fpinto@fe.up.pt>

**Paulo Rosa-Santos**  
Associate Editor  
<pjrsantos@fe.up.pt>

**Tiago Ferradosa**  
Associate Editor  
<tferradosa@fe.up.pt>

**Marcus Pollete**  
Section Editor  
<mpollete13@gmail.com>

**Marinez Scherer**  
Section Editor  
<marinezscherer@gmail.com>

**André Fortunato**  
Section Editor  
<afortunato@lnec.pt>

**Carlos Coelho**  
Section Editor  
<ccoelho@ua.pt>

**José Pinho**  
Section Editor  
<jpinho@civil.uminho.pt>

**A. Rita Carrasco**  
Section Editor  
<azarcos@ualg.pt>

**Ana Margarida Bento**  
Section Editor  
<anabento@fe.up.pt>

**Victor Ramos**  
Section Editor  
<jvrc@fe.up.pt>

**Guillermo Jorge Villalobos Zapata**  
Section Editor  
<gvillal@uacam.mx>

RGCI/JICZM (ISSN: 1646-8972) is published quarterly  
by an editorial pool composed by APRH, FEUP, CIMA, UNIVALI, UFRN and UPORTO  
Correspondence: aprh@aprh.pt

## **Publishers**

Editorial consortium comprising:

- APRH - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.  
e-mail: [aprh@aprh.pt](mailto:aprh@aprh.pt). web page: <http://www.aprh.pt>
- CIMA - Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Edifício 7, Campus Universitario de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal.  
e-mail: [cima@ualg.pt](mailto:cima@ualg.pt). web page: <http://www.cima.ualg.pt>
- UNIVALI - Universidade do Vale do Itajai, Rua Uruguai, 458 - Centro, Itajai, SC, 88302-901 , Brazil  
web page: <http://www.univali.br>
- UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal 1524, Natal, RN, 59078-970 Brazil  
web page: <https://www.sistemas.ufm.br>
- FEUP/UPORTO - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto Portugal. web page: [https://sigarra.up.pt/feup/pt/web\\_page.inicial](https://sigarra.up.pt/feup/pt/web_page.inicial)

## **Secretariat**

Ana Estêvão (APRH), André Cardoso (APRH)

## **Copy editing**

Francisco Taveira Pinto, Paulo Rosa Santos, Tiago Ferradosa

## **Formatting and pagination**

André Cardoso (APRH)

## **Web page**

André Cardoso (APRH)

## **SciELO DTD markup**

APRH

## **Cover design**

Francisco Taveira Pinto, Paulo Rosa Santos

ISSN: 1646-8872

# Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal  
Zone Management

22(4) – December 2022

## Table of Contents

### Editorial Note

*F. Taveira-Pinto, P. Rosa-Santos, T. Fazeres-Ferradosa, A.M. Bento, A.R. Carrasco*  
Dinâmica sedimentar, erosão costeira e gestão ..... 245-248

### Articles

*João Gaya, Thiago Alves, Luiz Córdova Júnior, Marcos Leandro dos Santos*  
Dinâmica da orla da Praia de Navegantes (Santa Catarina, Brasil) através do sensoriamento remoto..... 249-261

*Feril Hariati, Harman Ajiwibowo, Muhammad Kusuma, Mohammad Adityawan*  
Quantifying surface water decreasing in Segara Anakan Lagoon..... 263-271

*Daiana Pedersini, Kassia Rodrigues, Sergio Petri, Sandra Ensslin*  
Sistemas de Avaliação e Medidas de Desempenho no Setor Portuário: uma Análise Bibliométrica..... 273-284

*Graciela Cuello, P. Garzo, Ro Elías, Francisco Isla*  
Environmental assessment of pre-dredging sediments and proposals for their subsequent management in the port of  
Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina..... 285-297



## Editorial note / *Nota editorial*

### DINÂMICA SEDIMENTAR, EROÇÃO COSTEIRA E GESTÃO PORTUÁRIA

F. Taveira-Pinto<sup>1,2</sup>, P. Rosa-Santos<sup>1,2</sup>, T. Fazer-Ferradosa<sup>1,2</sup>, A.M. Bento<sup>1,2</sup>, A.R. Carrasco<sup>3</sup>

A dinâmica sedimentar da orla costeira, onde se inclui a erosão, resulta da conjugação de vários fatores e é, frequentemente, afetada pelas ações antropogénicas. Esta é uma temática que tem vindo a ser abordada de forma sistemática por vários autores, quer pela sua importância do ponto de vista da configuração da costa, quer pelo seu impacto nas diversas dinâmicas ambientais e socioeconómicas associadas à orla costeira (e.g Taveira-Pinto *et al.*, 2021; Rebêlo e Nave, 2022).

No seguimento destas contribuições, este número apresenta um conjunto de quatro trabalhos que abordam diversos casos de estudo paradigmáticos de problemas de engenharia e gestão costeira.

Gaya *et al.* (2022) relatam a dinâmica da orla costeira da praia dos Navegantes, em Santa Catarina, Brasil, onde a urbanização, com a destruição das dunas e a exposição às intempéries meteorológicas, é apontada como a principal causa da erosão costeira e consequente destruição dos ecossistemas naturais. Os autores apresentam as obras de defesa aderente na praia como soluções temporárias, que precisam de ser associadas a outras medidas de médio e longo prazo, para restaurar o sistema dunar e proteger a praia da erosão.

De acordo com os autores, apesar da elevada vulnerabilidade da região sul, o Pontal, o desenvolvimento de um projeto experimental com recurso à criação de dunas contribuiu para uma considerável retenção de sedimentos nessa área, e, por conseguinte, para uma maior proteção contra os fenómenos climáticos extremos. A utilização de veículos aéreos não tripulados (UAVs) para monitorização da dinâmica sedimentar revelou ser um método operacional rápido, eficiente e de baixo custo, com um nível de precisão elevado para auxiliar a tomada de decisão nos processos de gestão da orla costeira.

Em Hariati *et al.* (2022) discute-se a diminuição da área de água superficial da lagoa de Segara Anakan, na costa sul da ilha de Java, devido ao intenso processo de deposição sedimentar, com impactos ecológicos e socioeconómicos na comunidade local. Este é um estudo que torna evidente a utilidade de uma monitorização cuidada, por meio de análise espacial de dados. A qualidade dos sedimentos dragados constitui, também, um dos problemas mais críticos para a gestão costeira, pelo que a sua avaliação ambiental e a análise das metodologias de manuseamento desses materiais são de extrema importância. Hariati *et al.* (2022) providenciam resultados que apontam para uma redução significativa, de 65 km<sup>2</sup> para 8.5 km<sup>2</sup> entre 1947 e 2017, da área superficial da lagoa. Esta redução acarreta impactos profundos no ecossistema da lagoa, bem como na disponibilidade dos recursos hídricos a uma escala local. Importa ainda realçar a avaliação que é feita das taxas de sedimentação e do modo como estas devem ser tidas em conta no processo de gestão ambiental do local.

---

1 Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Porto, Portugal.

2 Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Matosinhos, Portugal.

3 Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

Ainda no que respeita à dinâmica sedimentar da orla costeira, os portos são casos paradigmáticos da complexa interação entre os processos de sedimentação e infraestruturas vitais para sociedade. Nesta matéria, Cuello *et al.* (2022), apresentam um estudo ambiental focado nas necessidades de dragagem e gestão de dragados no Porto de Mar del Plata em Buenos Aires (Argentina).

Segundo os autores, a obstrução da forte corrente litoral provocada pelo quebramar sul do Porto de Mar del Plata, Buenos Aires (Argentina), gera uma retenção significativa de sedimentos nesse local, que afeta a funcionalidade do porto e a qualidade ambiental das praias em redor. O estudo de Cuello *et al.* (2022) propõe a utilização de sedimentos dragados na alimentação de praias que se encontram em erosão. Para os devidos efeitos, este estudo compara as características e qualidade dos sedimentos provenientes de atividades de dragagem local com os sedimentos das praias mais afetadas pela presença do porto. Este estudo termina com propostas de gestão de sedimentos dragados que procuram contribuir para a melhoria da qualidade ambiental do sistema portuário. Este é um caso de estudo interessante à escala regional, mas com aplicabilidade a outros casos semelhantes onde as infraestruturas portuárias têm um papel essencial na dinâmica sedimentar local.

Através de uma extensa revisão e análise bibliográfica de diversos artigos relativos à gestão do sector portuário, Pedersini *et al.* (2023) avaliaram 33 casos de estudo que propõem o recurso a modelos de avaliação de desempenho portuário, para efeitos de gestão de portos e da sua capacidade de cumprir com a expectativa dos diversos stakeholders do sector. Segundo os autores, esta análise tornou evidente a importância do uso de modelos de avaliação de desempenho, que possam ser adequados às especificidades de cada porto, bem como ser capazes de incluir a participação de gestores, tendo em vista o alavancar do desempenho da organização portuária. Entre outros fatores de relevo no que toca à gestão portuária, o presente artigo apresenta ainda uma revisão detalhada de estudos anteriores, atendendo à localização geográfica de cada caso de estudo, às diferentes metodologias utilizadas para avaliar o desempenho portuário, e aos indicadores de desempenho, que são também diferentes para cada estudo. Estando o desempenho portuário intimamente ligado às condições de navegação locais e outras características endógenas da orla costeira, importa frisar que este estudo tem igualmente interesse do ponto de vista do planeamento e gestão das dinâmicas sedimentares que possam afetar as zonas portuárias.

Com o conjunto destas quatro publicações, a Revista de Gestão Integrada encerra assim os números relativos a 2022 e passa agora a assumir um novo formato para 2023, mais adequado à modernidade e novas tendências de transferência e divulgação do conhecimento científico. Informamos os membros da nossa comunidade e os nossos estimados leitores que, neste novo formato, os artigos passarão a estar disponíveis, com digital object identifier, assim que forem aceites e tenham passado à fase de produção. Os artigos publicados serão posteriormente agrupados em dois números a serem publicados semestralmente, com a respetiva nota editorial que os acompanha.



## *SEDIMENT DYNAMICS, COASTAL EROSION AND PORTS MANAGEMENT*

*The sedimentary dynamics of the coastline, which includes erosion, results from the combination of several factors and is often affected by anthropogenic actions. This is a theme that has been systematically addressed by several authors, either because of its importance from the point of view of the configuration of the coast, or because of its impact on the various environmental and socioeconomic dynamics associated with the coastline (e.g. Taveira-Pinto et al., 2021; Rebêlo and Nave, 2022).*

*Following these contributions, this issue presents a set of four works that address several paradigmatic case studies of engineering and coastal management.*

*Gaya et al. (2022) report the dynamics of the coastline at Praia dos Navegantes, in Santa Catarina, Brazil, where urbanization combined with the destruction of dunes and exposure to extreme meteorological weather, is identified as the main cause of coastal erosion and consequent destruction of the local ecosystem. The authors present the defense structures on the beach as temporary solutions, which need to be associated with other medium and long term measures, to restore the dune system and protect the beach from erosion.*

*According to the authors, despite the high vulnerability of the southern region, Pontal, the development of an experimental project using the creation of dunes contributed to a considerable retention of sediments in that area, and, therefore, to the greater protection against extreme weather phenomena. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) to monitor sediment dynamics proved to be a fast, efficient and low-cost operational method, with a high level of accuracy to assist in decision-making related to coastal management processes.*

*Hariati et al. (2022) discusses the decrease in the water surface area of the Segara Anakan lagoon, on the south coast of the island of Java, due to the intense process of sedimentary deposition, with ecological and socioeconomic impacts on the local community. This is a study that demonstrates the usefulness of careful monitoring through spatial data analysis. The quality of dredged sediments is also one of the most critical problems for coastal management, so its environmental assessment and the analysis of the methodologies for handling these materials are extremely important. Hariati et al. (2022) provide results that point to a significant reduction, from 65 km<sup>2</sup> to 8.5 km<sup>2</sup> between 1947 and 2017, in the surface area of the lagoon. This reduction has profound impacts on the lagoon's ecosystem, as well as on the availability of water resources at a local scale. It is also important to highlight the assessment made of sedimentation rates and how these should be considered in the local environmental management process.*

*Still regarding the sedimentary dynamics of the coastline, ports are exemplary cases of the complex interaction between sedimentation processes and vital infrastructure for society. In this matter, Cuello et al. (2022), present an environmental study focused on the needs of dredging and dredged material management in the Port of Mar del Plata in Buenos Aires (Argentina).*

*According to the authors, the obstruction of the strong coastal current caused by the southern breakwater of the Port of Mar del Plata, Buenos Aires (Argentina), generates a significant retention of sediments in that location, which affects the functionality of the port and the environmental quality of the surrounding beaches. The study by Cuello et al. (2022) proposes the use of dredged sediments to feed local beaches that are undergoing erosion. Hence, this study compares the characteristics and quality of sediments from local dredging activities with sediments from the beaches most affected by the presence of the port. This study ends with guidelines for the management of dredged sediments that seek to contribute to the improvement of the environmental quality of the port's system. This is an interesting case study on a regional scale, but with applicability to other similar cases where ports and harbours play an essential role in the local sedimentary dynamics.*

*Through an extensive review and bibliographical analysis of several articles related to the management of the port's sector, Pedersini et al. (2023) evaluated 33 case studies that propose the use of port performance evaluation models, for the purposes of port management and its ability to meet the expectations of the various stakeholders in the sector. According to the authors, this analysis highlighted the importance of using performance evaluation models that can be adapted to the specificities of each port, as well as being able to include the participation of managers towards leveraging the performance of the port organization.*

*Among other relevant factors regarding port management, this article also presents a detailed review of previous studies, taking into account the geographic location of each case study, the different methodologies used to assess the port's performance, and the performance indicators, which are also different for each study. Since port performance is closely linked to local navigation conditions and other endogenous characteristics of the coastline, it is important to emphasize that this study is also of interest from the point of view of planning and management of sedimentary dynamics that may affect ports and harbours' areas.*

*With these four publications, the Journal of Integrated Coastal Zone Management closes the numbers for 2022 and now assumes a new format for 2023, more suited to the new trends in the transfer and dissemination of scientific knowledge. We inform the members of our community and our esteemed readers that, in this new format, the articles will become available, with a digital object identifier, as soon as they are accepted and have passed the production phase. The published articles will later be grouped into two numbers to be published every six months, with the respective accompanying editorial note.*

## **REFERÊNCIAS/REFERENCES**

- Cuello, G., Garzo, P., Elias, R., Isla, F. (2022). Environmental assessment of pre-dredging sediments and proposals for their subsequent management in the port of mar del plata, Buenos Aires, Argentina. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 22 (4). pp. 285-297 DOI: 10.5894/rgci-n519.
- Pedersini, D., Rodrigues, K., Petri, S., Ensslin, S. (2022). Sistemas de avaliação e desempenho no setor portuário: uma análise bibliométrica. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 22 (4). pp. 273-284 DOI: 10.5894/rgci-n491.
- Gaya, J., Alves, T., Júnior, L., dos Santos, M. (2022). Dinâmica da orla da Praia de Navegantes (Santa Catarina, Brasil) através do sensoriamento remoto. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 22 (4). pp. 249-262 DOI: 10.5894/rgci-n456.
- Hariati, F., Ajiwibowo, H., Kusuma, M., Adityawan, M. (2022). Quantifying surface water decreasing in Segara Anakan Lagoon. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 22 (4). pp. 263-272 DOI: 10.5894/rgci-n462
- Rebêlo L., Nave S.O. (2022). Long-term coastline evolution of Figueira da Foz - nazaré sector (Portugal). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 22 (2), pp. 145 – 168. DOI: 10.5894/rgci-n507.
- Taveira-Pinto F., Rosa-Santos P., Fazeres-Ferradosa T. (2021). Vulnerability and sustainability: From the coast to the sea. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 21 (3), pp. 129 – 133. DOI: 10.5894/rgci-n484.

## DINÂMICA DA ORLA DA PRAIA DE NAVEGANTES (SANTA CATARINA, BRASIL) ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO

João Gaya<sup>1</sup>, Thiago Alves<sup>2</sup>, Luiz Córdova Júnior<sup>3</sup>, Marcos Leandro dos Santos<sup>4</sup>

**RESUMO:** A dinâmica sedimentar da orla da praia de Navegantes, Santa Catarina, Brasil, foi estudada através do sensoriamento remoto e do uso de imagens satelitais pretéritas nos dois extremos do arco praial, entre os anos de 2004 e 2018. Sobrevoos com VANT em campanhas amostrais oportunistas no ano de 2019 foram realizadas após eventos de ressaca para avaliar os efeitos dos eventos meteorológicos extremos na dinâmica sedimentar em curta escala temporal. Foram obtidas um total de 32 imagens, 16 para cada área. Com o uso das imagens foi possível constatar a redução da faixa de restinga da área Norte (Praia do Gravatá) a partir de 2016, enquanto na área Sul (Praia do Pontal) foi observado incremento a partir de 2012 após início do projeto de recuperação de dunas embrionárias. A praia do Gravatá segue enfrentando problemas graves de erosão em virtude da ocupação irregular da faixa de restinga, enquanto a praia do Pontal segue aumentando, sendo fixado um grande volume de sedimentos, o que proporciona condições para o maior desenvolvimento da vegetação nativa fixadora das dunas.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, dinâmica costeira, restinga, erosão praial, VANT.

**ABSTRACT:** *The sedimentary dynamics of the Navegantes Beach, in Santa Catarina state, Brazil, was studied through remote sensing and using satellite images obtained in the past years, between 2004 and 2018, at both ends of the beach arch. UAV flights during opportunistic sampling campaigns in 2019 were carried out after storm surges events to assess the effects of extreme weather events on sedimentary dynamics in a short time scale. A total of 32 images were obtained, 16 from each area. From the images, it was possible to observe a reduction in the sand spit at the North area (Gravatá Beach) from 2016 onwards, while in the South area (Pontal Beach) an increase was observed since 2012 after the implementation of a frontal dunes recover project. Gravatá Beach continues to face serious erosion problems due to its irregular occupation, while Pontal Beach continues to increase, with a large volume of sediment deposited, which provides conditions for a greater development of the native vegetation that stabilize the dunes.*

**Keywords:** *remote sensing, coastal dynamics, sand spit, beach erosion, UAV.*

---

@ Corresponding author: [gaya@gayajpconsultoria.com.br](mailto:gaya@gayajpconsultoria.com.br)

1 Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88020-300.

2 Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC, Campos Itajaí, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88307-303. E-mail: [thiago.alves@ifsc.edu.br](mailto:thiago.alves@ifsc.edu.br)

3 L2 Engenharia e Topografia, Navegantes, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88370-096. E-mail: [cordova@L2topografia.com.br](mailto:cordova@L2topografia.com.br)

4 Instituto Ambiental de Navegantes - IAN, Navegantes, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88370-513. E-mail: [marcosleandros@hotmail.com](mailto:marcosleandros@hotmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

As variações da morfologia costeira dependem das condições ambientais locais, do tipo de sedimento, da climatologia de ondas, da classificação morfológica das praias, da configuração costeira (Gujar *et al.*, 2011) e utilização/exploração antrópica (Bonetti *et al.*, 2018). Em muitos casos o uso e ocupação destas áreas não são feitos de forma integrada às características intrínsecas da praia, prevalecendo um estado de equilíbrio dinâmico nas quais a linha de costa ajusta continuamente sua morfologia e distribuição de sedimentos às novas condições impostas (Bonetti *et al.*, 2018).

Os agentes oceanográficos que incidem na zona costeira moldam a linha de costa e são responsáveis por uma significativa parcela das forças que contribuem para formar as paisagens litorais. O entendimento destes processos permite compreender como os fenômenos de retrogradação e progradação marinha afetam a linha de costa atual (Horn Filho *et al.*, 2018).

Apesar de ser um processo natural (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020) da dinâmica praias, em todo o mundo os processos erosivos de algumas praias, e sua intensificação, estão intimamente relacionadas com ações antrópicas, em diferentes níveis, afetando as características naturais associadas a dinâmica sedimentar costeira (Horn Filho *et al.*, 2018; Rangel-Buitrago *et al.*, 2020).

O litoral do Estado de Santa Catarina (SC) é composto por 27 municípios com frente oceânica que por vezes apresentam graves problemas associados à erosão costeira, induzida por deficiências do abastecimento sedimentar cujas consequências são intensificadas ao longo dos anos (MMA, 2006; Oliveira, 2009; Araújo *et al.*, 2010; Machado, 2010; Schmidt *et al.*, 2013). As praias arenosas são ambientes dinâmicos que apresentam constantes alterações morfológicas sazonais (Short, 1999; Klein, 2004; Gujar *et al.*, 2011) e ocasionalmente, eventos meteorológicos e oceanográficos de elevada energia podem intensificar os efeitos causados na orla, chegando em muitos casos, a situações catastróficas nos adensamentos urbanos implantados próximos ao ambiente praias (Horn Filho *et al.*, 2018).

A região de Navegantes (SC) encontra-se situada em latitude subtropical, uma zona de transição entre as Massas de Ar Tropicais e Polares, criando linhas de instabilidades originadas na “Baixa do Chaco” (Paraguai), região onde formam-se os centros de baixa pressão atmosférica que dão origem aos sistemas frontais que atuam na região Sul do Brasil. De acordo com Bonetti *et al.* (2018), a região está sob influência de

ciclones extratropicais e outros sistemas de tempestades que frequentemente atingem o sul do Brasil.

Como consequência da passagem desses sistemas meteorológicos de maior energia, ocorrem significativos incrementos da agitação marítima que são popularmente denominados de ressacas e que podem provocar um recuo momentâneo da linha de costa, em decorrência de fluxos transversais de sedimentos (Sherman & Bauer, 1993; Gujar *et al.*, 2011). De acordo com Dominguez *et al.* (2018), essa perda momentânea não é irreversível, e o perfil de praia tende a se recuperar com o retorno da estabilidade e normalização das condições climáticas. Esses processos imprimem uma variabilidade natural ao ambiente praias, que pode ser percebido mesmo em curtos intervalos de tempo. Conforme Serafim *et al.* (2019), eventos extremos com ondas de elevada energia podem resultar em alterações ambientais expressivas em uma curta escala de tempo, sendo a gravidade dos impactos diretamente dependente do nível de exposição e vulnerabilidade.

Devido à sua localização geográfica e características geomorfológicas, a praia de Navegantes recebe diretamente ondulações de Sul à Nordeste (Menezes & Klein, 1997). A remoção quase que completa da faixa de restinga na porção Norte da orla (Praia do Gravatá), especialmente sobre o sistema de dunas, pode estar relacionado com a erosão praias nesta porção da orla. Na porção Sul da praia (distante 6,5 km da Praia do Gravatá), o projeto experimental de recuperação natural do sistema de dunas (ano de 2009) através da técnica de disposição de materiais biodegradáveis de origem vegetal que aportam na praia pela ação das marés, criou obstáculos artificiais que favorecem a retenção de sedimentos e expansão da vegetação.

Considerando os processos históricos de uso e ocupação da orla da praia, bem como das intervenções e obras de engenharia costeira para mitigação dos impactos negativos associados ao processo de ocupação, propomos realizar um estudo cronológico do uso e ocupação da orla e avaliar a viabilidade de utilizar um veículo aéreo não tripulado (VANT) para acompanhar a dinâmica sedimentar nos dois extremos da Praia de Navegantes.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

O Município de Navegantes possui uma população estimada de 83.626 habitantes, distribuídos em uma extensão territorial de

111,65 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021) e está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (Figura 1). O sistema de drenagem da vertente do Atlântico compreende uma área de aproximadamente 35.298 km<sup>2</sup> (37% da área total do Estado), distribuídos em 46 Municípios, onde se destaca a Bacia do rio Itajaí com aproximadamente 15.500 km<sup>2</sup>.

A Praia de Navegantes é uma praia arenosa exposta à ação de ondas, proveniente dos quadrantes sul, sudeste, leste e nordeste, com a presença de sedimento fino, bem selecionado e declividade média de aproximadamente 2°. Possui uma zona de surf de aproximadamente 70 m e ondas com rebentação geralmente do tipo deslizante com altura média variando de 0,5 a 1 m (Araújo *et al.*, 2005). As duas áreas estudadas neste trabalho localizam-se nos extremos da orla deste arco praial, sendo a porção Norte denominada Praia do Gravatá, e a extremidade Sul, denominada Praia do Pontal ou simplesmente Pontal (Figura 2).

De acordo com Schettini *et al.* (1996), a amplitude média de maré astronômica para o litoral onde está inserida a região

deste estudo é de 0,8 m, sendo a máxima de 1,2 m. Esses autores destacam a grande importância da maré meteorológica na dinâmica costeira regional, a qual pode aumentar em até um metro os valores da maré astronômica. Outro fator importante de ser destacado para o litoral centro-norte, está associado ao transporte de sedimento, especialmente em eventos meteorológicos extremos associados a galgamentos oceanicos (ou ressacas do mar), na qual tempestades geradas pela passagem de sistemas frontais, ou de ciclones extratropicais gerando ondas que erodem o sistema de dunas frontais (MMA, 2006).

## 2.2 Cronologia histórica da ocupação antrópica da orla

Uma revisão da literatura serviu como forma de reunir estudos e saberes acerca do processo de uso e ocupação antrópica da orla da praia de Navegantes. Na primeira etapa da revisão sistemática foram consultadas as bases: *Science Direct*; *SciELO*; *Springer*, o site da prefeitura municipal, sites de meios de comunicação, visitas aos acervos públicos, além do próprio acervo do autor. As buscas envolveram os descritores “Erosão da Praia”, “Ressacas”,

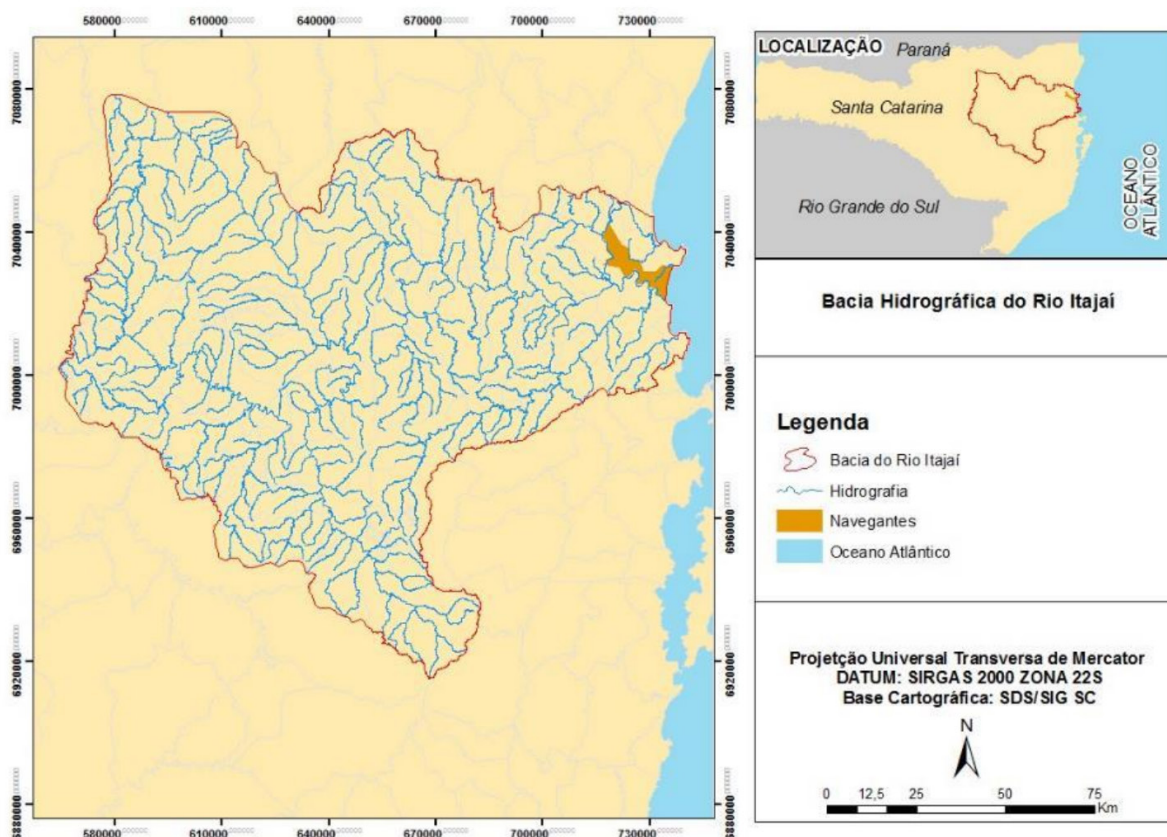


Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí.

“Navegantes” e “Impactos na Praia” em combinações distintas, tanto na língua portuguesa quanto inglesa. Na busca seguinte fez-se uso da combinação de apenas dois descritores, sendo “Ressaca + Navegantes” e “Erosão + Ressacas + Navegantes”.

Após a seleção inicial, foram aplicados critérios para avaliação da qualidade e relevância considerando três dimensões para pré-avaliação: a) qualidade, b) adequação ao escopo deste estudo, e c) foco na temática desta revisão. A categorização das buscas abrangeu desde artigos originais até reportagens publicadas em veículos de comunicação local (jornais de circulação diária). Livros, manuais, documentos técnicos, teses e dissertações também foram investigados. O banco de imagens do acervo técnico do autor principal, associado com imagens satelitais pretéritas obtidas através do *software Google Earth* e processadas em *software* de Informação Geográfica, contribuíram para embasar este estudo de revisão e gerar os indicadores de variação da linha de costa ao longo do período de 2004 a 2018, bem como calcular a área (m<sup>2</sup>) da faixa arenosa e de restinga (da Avenida Beira Mar até a zona do espraiamento de ondas).

### 2.3 Avaliação da dinâmica sedimentar com o uso de VANT

O acompanhamento da dinâmica sedimentar nas duas regiões da Praia de Navegantes foi realizado em seis sobrevoos em cada um dos locais estudados, entre os meses de abril e julho de 2019. Utilizando como base a metodologia descrita por Yoo & Oh (2016), os levantamentos foram realizados com a utilização de um VANT tipo quadricóptero da marca *DJI* modelo *Phantom 4 PRO*, equipado com uma câmera fotográfica com sensor de 20 Mp de 1 polegada. Os sobrevoos foram aprovados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA/SARPAS), respeitando a regulamentação vigente para operação destes equipamentos.

A aerofotogrametria foi realizada a uma altura pré-definida de 100 m, sendo registrada por meio de um memorial de processamento com a sobreposição lateral de 65% e frontal de 75% entre as imagens obtidas. As imagens foram tratadas no *software Agisoft PhotoScan®* com aplicação de pontos de apoio materializados em solo georreferenciados com emprego de aparelho GPS/GNSS, marca *GeoMax*, *Modelo Zenith 25*, na

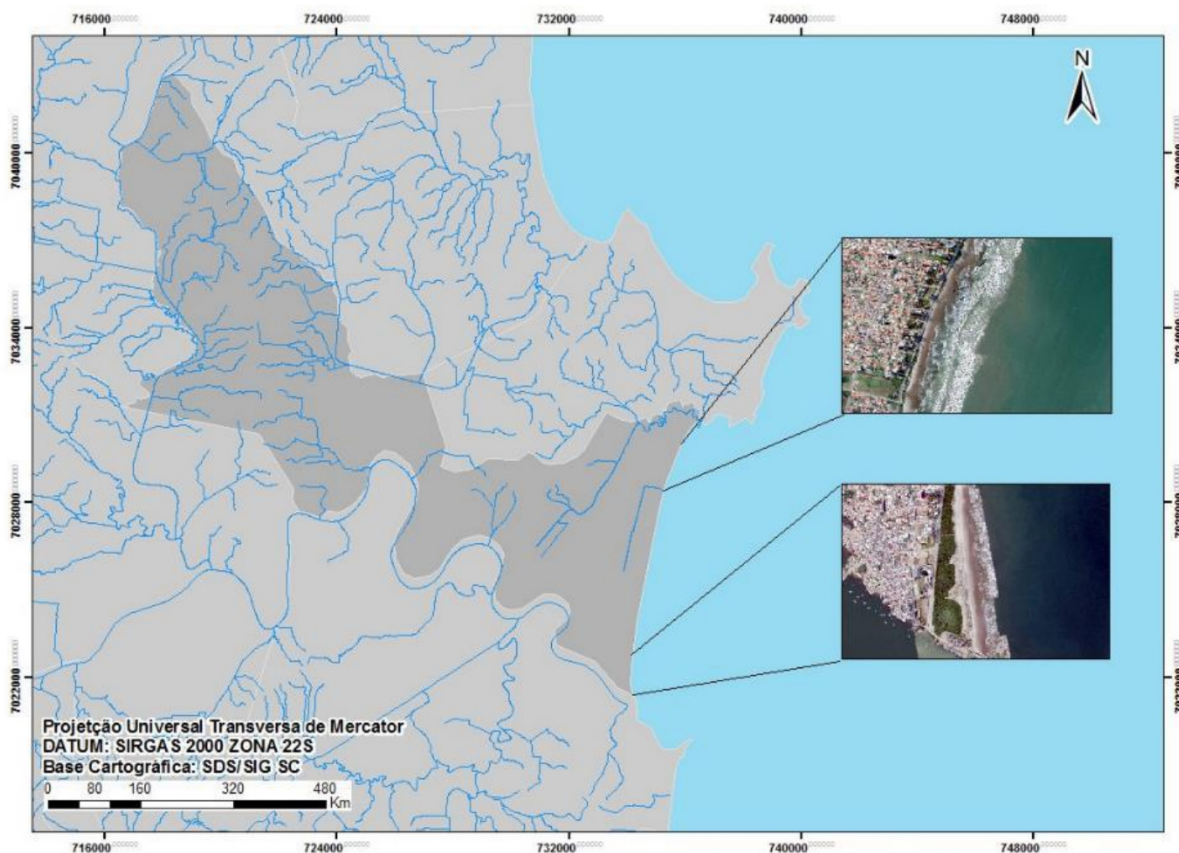


Figura 2. Mapa do Município de Navegantes discriminando os dois locais de estudo.

qual os mesmos (pontos) foram pós-processados com base na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os pontos de apoio em cada um dos locais monitorados não foram obtidos no mesmo dia, não tendo sido pós-processados com a mesma base que garantisse a amarração altimétrica entre os locais.

Foram gerados ortofotos georreferenciados e imagens tridimensionais (imagens 3D) no *software Agisoft PhotoScan*® e comparadas entre cada levantamento a partir de uma mesma cota de referência, na qual se pôde aferir os volumes de sedimentos pela inclusão de curvas de nível com 0,25 m de intervalo dentro do polígono delimitado para cada local monitorado.

## 2.4 Eventos meteorológicos extremos

As informações referentes aos avisos de mau tempo emitidos pelo Serviço Meteorológico da Marinha do Brasil para a área de estudo no período compreendido entre os anos de 2004 e 2019 foram obtidos junto ao Centro de Hidrografia da Marinha (DHN). A autoridade marítima setoriza o litoral brasileiro em áreas, sendo que a região deste estudo localizada na Área C (*Charlie*), compreendida entre o Farol de Santa Marta (Laguna) e Cabo Frio (Rio de Janeiro), na região costeira. De acordo com a mesma fonte, os avisos de mau tempo referentes a ressacas indicam a possibilidade da ocorrência do evento e não se de fato ocorreu. Esses avisos são emitidos quando existe a previsão de formação de ondas de no mínimo 2,5 m de altura que possam avançar sobre as regiões litorâneas, sendo que a confirmação do efeito da ressaca pode ser obtida através do relato local pela mídia ou moradores através da observação do avanço do mar, o que é considerado informação e não dado.

## 2.5 Tratamento estatístico

As análises estatísticas, descritivas e comparativas, para ambas as regiões e entre elas, foram realizadas aplicando o teste t de *student* para amostras independentes (avaliando a diferenças dentro de cada tratamento – regiões) e de Wilcoxon (comparando cada região ao longo do período analisado) no *software Statsoft Statistica 7.0*.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Cronologia histórica da ocupação e uso da orla

O limite Sul da Praia de Navegantes ocorre junto ao molhe instalado ao Norte da Foz do Rio Itajaí-Açu. Em 1914 foram

construídos 700 m lineares do molhe Sul e, mais tarde, incluindo o enrocamento que formou o molhe Norte (Porto de Itajaí, 2020). Em 1926 o sistema foi ampliado através da instalação das defensas das margens esquerda e direita do rio e dos molhes nas duas margens (Serraglio, 2014). No ano de 2016 foi iniciada a obra de instalação da Bacia de Evolução do complexo portuário do rio Itajaí-Açu, e os molhes, sobretudo o Norte, sofreram novas intervenções ainda inacabadas.

Entre as décadas de 1980 e 1990, a vegetação existente na extremidade Sul era classificada, de acordo com a Resolução CONAMA n° 261 de 1999, como restinga herbácea, possuindo poucos arbustos ao longo da sua extensão. Esta porção da praia apresenta o local com a restinga mais preservada de toda a orla do Município. Com o passar dos anos, com a diminuição do trânsito de pessoas e consequente redução do pisoteio, houve um maior desenvolvimento da vegetação, passando a arbustiva, e atualmente, arbórea.

Muitos fatores contribuíram para essa situação, sendo um dos principais, senão o principal, a remoção dos quiosques, outrora instalados sobre a restinga, a partir de 2012 por uma determinação da Justiça Federal da 4ª Região, requerida pelo Ministério Público Federal (MPF) através de ação civil pública (Navegantes, 2012). Previamente a esta determinação judicial, a Fundação Municipal do Meio Ambiente de Navegantes (FUMAN) havia realizado ações com o objetivo de recuperar a restinga através da promoção do crescimento de dunas embrionárias (2009 e 2010). Nestas ações os troncos e fragmentos de origem vegetal que chegavam até a praia passaram a ser dispostos em frente das dunas frontais, formando uma barreira física que contribuiu para a retenção de sedimentos que chegavam pela ação dos ventos, proporcionando condições para a formação da duna embrionária e para o estabelecimento da vegetação nativa (Navegantes, 2017). Este constante processo ajudou a estabilizar o pacote sedimentar, fixou as dunas e permitiu o desenvolvimento da restinga (Eamer & Walker, 2010; Montreil *et al.*, 2013; Del Vecchio *et al.*, 2017; Van Puijenbroek *et al.*, 2017).

Com a emancipação política de Navegantes em 1962, ocorreu o processo de abertura da Avenida Beira Mar e a constituição do bairro Gravatá, frequentado por turistas provenientes de outras cidades do Vale do Itajaí na temporada de verão, consolidando o bairro como um balneário. A partir da segunda metade da década de 1990 houve uma intensa expansão imobiliária neste bairro que perdura até os dias atuais. A ocupação urbana desordenada no bairro Gravatá em Navegantes pode estar diretamente relacionada com a erosão costeira. Durante

os últimos 25 anos diversas obras de infraestrutura pública (Avenida Beira Mar, calçadão, deck de madeira e duas praças) foram instaladas sobre o sistema de dunas, além da ocupação das áreas de manguezal do Rio Gravatá tanto no Município de Navegantes quanto no Município de Penha, o que pode também ter afetado a dinâmica sedimentar local (Menezes & Klein 2002; Menezes *et al.*, 2003; Klein *et al.*, 2006). Lins-de-Barros *et al.* (2016) em estudo realizado em Maricá (RJ), asseveram que a ausência de um planejamento urbano com limites adequados resultou na ocupação desordenada ao longo de praticamente todo o arco praial com construções localizadas próximas à escarpa do pós-praia e até mesmo avançando sobre a própria praia, tornando o litoral vulnerável às ressacas. Medeiros *et al.* (2016) em estudo realizado em Caucaia (CE) verificaram que o local vem sofrendo os efeitos da elevada especulação imobiliária, da ocupação desordenada da orla e elevado fluxo turístico e recreativo, acarretando sérios problemas de cunho físico, ambiental, social e econômico, além da intensificação do processo erosivo sobre a faixa de praia. Rangel-Buitrago *et al.* (2020) relacionaram a erosão costeira em Cartagena (Colômbia) com o aumento da urbanização. Todos esses casos são semelhantes ao que ocorreu e ocorre no bairro Gravatá.

A partir do ano 2000, os eventos meteorológicos extremos (ressacas) começaram a se tornar mais intensos e severos, provocaram danos significativos ao longo da orla, especialmente na praia do Gravatá, danificando o patrimônio público e privado, resultando em intervenções governamentais com a publicação de decretos de estado de calamidade (Decreto n° 259/2001; Decreto n° 181/2016; Decreto n° 186/2016; Decreto n° 435/2017). De acordo com Bonetti *et al.* (2018), os locais com maior suscetibilidade concentram-se em áreas onde a urbanização está muito próximo da costa, em muitos casos substituindo as dunas originais.

No decorrer de quase 90 anos da obra de enrocamento que modificou a hidrodinâmica deste trecho da orla, a corrente de deriva litorânea associado a climatologia de ondas naturalmente contribuiu para o acúmulo de sedimentos na extremidade sul do arco praial. Entretanto, a quase ausência de vegetação dificultava o processo de estabilização desse pacote sedimentar, com o clima de ondas atuando diretamente na mobilização de sedimentos na praia. A dinâmica sedimentar relacionada às causas naturais como as variações médias do nível do mar que podem ser persistentes e periódicas, demonstram ser potencializada pelas múltiplas atividades antrópicas desenvolvidas na zona costeira e bacias hidrográficas próximas (Horn Filho, 2006; Klein *et al.*, 2006).

### 3.2 Dinâmica da orla através do sensoriamento remoto

Foram obtidas 16 imagens de cada região estudada, totalizando 32 imagens. O valor estimado da área (m<sup>2</sup>) entre as duas regiões estudadas entre 2004 (T0) e 2019 (T21) é apresentado na Figura 3. Entre 2004 (T0) e 2011 (T1) a área de restinga na região Sul apresentou redução, enquanto na região Norte se observava um acréscimo. Na região Sul da praia, entre 2012 (T2) e 2014 (T6), foi possível observar um expressivo incremento de 48.466 m<sup>2</sup> (98,16%) em relação a 2011 (T1), e a partir de 2015 (T7) o sistema de restinga demonstra ter estabilizado indicando a recuperação desse bioma (Figura 4).

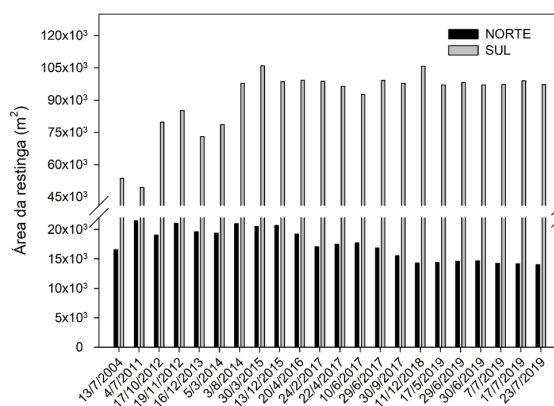
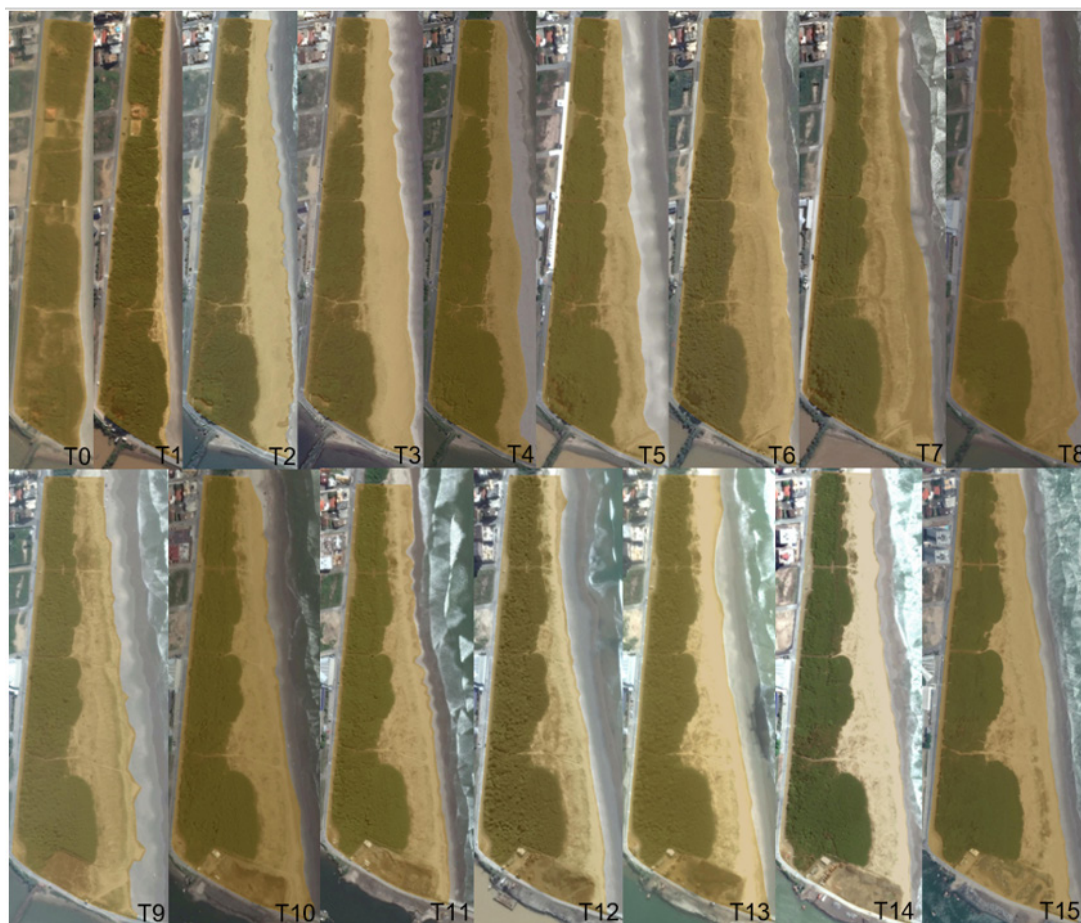


Figura 3. Evolução da área (m<sup>2</sup>) de restinga na região Norte (Gravatá) e na região Sul (Pontal) no período compreendido entre 13/7/2004 (T0) e 23/7/2019 (T21).

Na região Sul da praia (Figura 4), a maior área registrada foi de 105.969 m<sup>2</sup> em 2019 (T15), enquanto a menor área foi de 49.372 m<sup>2</sup> em 2011 (T1), quando o projeto de dunas embrionárias entrava no segundo ano. O maior crescimento proporcional se deu entre 2011 (T1) e 2012 (T2), com 61,33% de incremento de área. Esta região pôde ser dividida em três agrupamentos (T0-T2, T3-T7, T8-T21), apresentando diferença apenas entre todos os agrupamentos ( $t = 28,01$ ;  $p = 0,001$ ), indicando uma tendência constante de modificação, neste caso positiva. Considerando a maior e a menor área registradas (T15 e T1, respectivamente), pode-se dizer que o local apresentou uma acreção máxima de 56.597 m<sup>2</sup>, ou seja, um aumento de 114,63%.

Na região Norte se observava pequenas variações na área da restinga entre 2011 (T1) e 2015 (T8), com variações consideradas normais dentro dos ciclos geológicos que envolvem a dinâmica sedimentar de praias arenosas (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020). A partir de 2016 (T9) houve evidente





**Legenda:** T0 – 13/07/2004, T1 – 04/07/2011, T2 – 17/10/2012, T3 – 19/11/2012, T4 – 16/12/2013, T5 – 05/03/2014, T6 – 03/08/2014, T7 – 30/03/2015, T8 – 13/12/2015, T9 – 20/04/2016, T10 – 24/02/2017, T11 – 22/04/2017, T12 – 10/06/2017, T13 – 29/06/2017, T14 – 30/09/2017, T15 – 11/12/2018

Figura 4. Imagens satelitais da região Sul (praia do Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15). Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

perda de área de restinga anualmente até 2018 (T15), indicando que os processos erosivos nesta região da orla estão em um nível grave e crônico (Figura 5).

Em 2004 (T0) a região Norte apresentava uma área total de 16.572 m<sup>2</sup>, enquanto a região Sul (Pontal) apresentava 53.605 m<sup>2</sup>. A maior área registrada na região Norte foi em 2011 (T1), quando o local atingiu 21.462 m<sup>2</sup>, tendo ocorrido um acréscimo de área de 4.890 m<sup>2</sup> em relação à área registrada em (T0). A partir de 2017 (T11) o processo erosivo fica mais evidente e significativo ( $z= 2,70$ ;  $p= 0,007$ ), e culmina com a menor área registrada em 2019 (T21), com 14.031 m<sup>2</sup>. Considerando a diferença na área entre T0 e T21, a região Norte sofreu significativa ( $t= 30,79$ ;  $p= 0,001$ ) erosão de 2.541 m<sup>2</sup>, e

considerando a diferença entre área registrada em T1 e a área em T21, a redução foi de 7.431 m<sup>2</sup>, (34,62%) ou 495,4 m<sup>2</sup>/ano.

### 3.3 Estimativa do volume sedimentar com o uso de VANT

Foram realizados seis sobrevoos em cada uma das regiões. O voo inicial na região Sul ocorreu em 26/4/2019 (T16), e na região Norte em 17/5/2019 e último voo ocorreu em 23/7/2019 (T21). Nesta menor janela temporal utilizada neste estudo, em T16 a região Norte apresentou uma área remanescente de restinga de 14.372 m<sup>2</sup>, enquanto a região Sul apresentou 97.004 m<sup>2</sup>.

A maior área registrada na região Sul foi em 17/7/2019

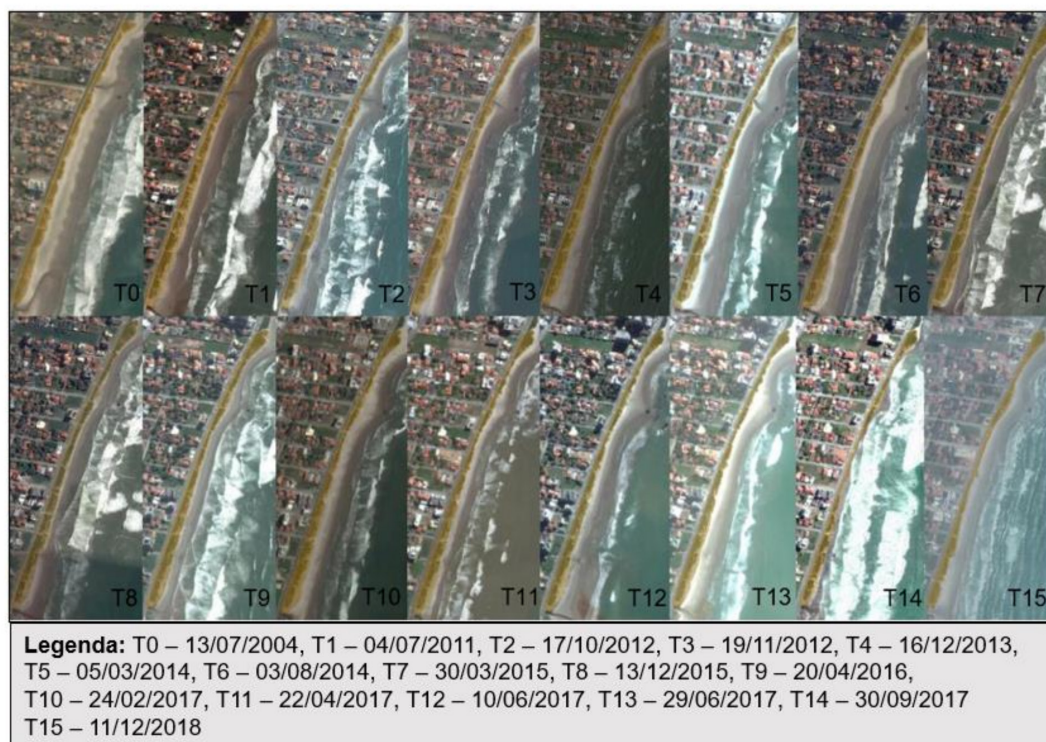


Figura 5. Imagens satelitais da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15). Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

(T20), quando o local apresentou 98.929 m<sup>2</sup>, e a menor área foi em 26/4/2019 (T16), com 97.004 m<sup>2</sup>, e uma área média de 97.589 m<sup>2</sup>. Neste período (T16-T21) o processo de erosão consumiu 1.925 m<sup>2</sup>, uma redução de 1,97% em relação à média do período (Figura 6).

Na região Norte, a maior área registrada nos aerolevantamentos foi em 30/6/2019 (T18), quando o local atingiu 14.670 m<sup>2</sup>. E a menor área de todo o período analisado, considerando a análise histórica apresentada foi 14.031 m<sup>2</sup> registrada em 23/7/2019 (T21). Considerando apenas o período compreendido entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21), a região Norte apresentou uma área média de 14.354 m<sup>2</sup>, e um processo erosivo que consumiu 639 m<sup>2</sup>, ou seja, uma redução de 4,45% em relação à área média do período (Figura 7).

Uma das principais vantagens do uso do VANT consiste na possibilidade de estimar o volume de sedimentos contidos em ambos os locais estudados através da inserção de curvas de nível nos polígonos pré-estabelecidos. Os resultados dos levantamentos (Tabela 1) mostraram que ambos os locais estudados podem apresentar tanto processo de acreção quanto de erosão provocados pelos agentes naturais como os eventos

meteorológicos extremos. A média de volume de sedimentos na região Norte foi de 6.032,02 m<sup>3</sup> dentro da área de 46.297 m<sup>2</sup> utilizada para o estudo, com uma acreção média de 227,52 m<sup>3</sup>. Ao se considerar o volume médio de sedimentos na região Norte, têm-se uma altura média de apenas 13,03 cm.

Na região Sul, a média de sedimentos foi de 76.032,95 m<sup>3</sup> dentro da área de 73.408 m<sup>2</sup> utilizada para o estudo. A erosão média foi de 2.239,68 m<sup>3</sup>. Considerando o volume médio de sedimentos pela área, têm-se uma altura média de 103,57 cm, o que representa um volume de sedimentos 7,92 vezes superior, quando comparado com a região Norte.

O incremento dessa área (região Sul), se deu ao longo dos anos de execução do projeto de dunas embrionárias no local, tendo ocorrido a fixação de um grande volume de sedimentos que proporcionou a expansão da faixa de areia e da restinga. Essa região possui uma grande reserva de sedimentos, o que harmoniza a dinâmica sedimentar e uma maior capacidade de suportar os eventos meteorológicos extremos sem comprometer a infraestrutura pública, tal qual ocorre na região Norte.



Figura 6. Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Sul (Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 26/4/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21). Fonte: elaborado pelos autores.

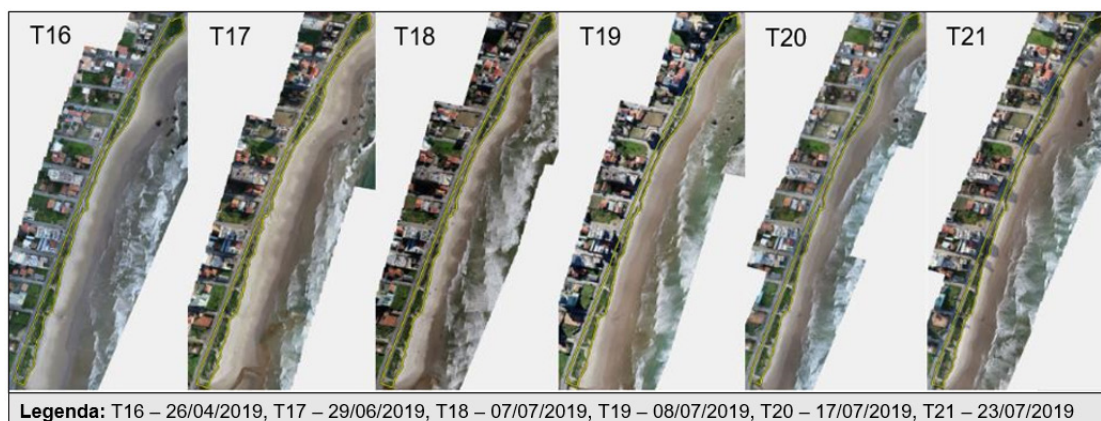


Figura 7. Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21). Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 1. Volumes de sedimentos calculados nas porções Norte e Sul da Praia de Navegantes durante o intervalo de tempo entre T16 e T21. Diferença (m<sup>3</sup>) representa o valor discrepante em relação à faixa de restinga de cada uma das porções.

NORTE: 46.297 m <sup>2</sup>				SUL: 73.408 m <sup>2</sup>		
	Data	Volume (m <sup>3</sup> )	Diferença (m <sup>3</sup> )	Data	Volume (m <sup>3</sup> )	Diferença (m <sup>3</sup> )
T16	17/5/2019	3.686,50	0,00	26/4/2019	80.313,50	0,00
T17	29/6/2019	5.968,40	+ 2.281,90	29/6/2019	73.071,10	- 7.242,40
T18	30/6/2019	6.332,20	+ 363,80	7/7/2019	67.560,50	- 5.510,60
T19	7/7/2019	4.801,80	- 1.530,40	8/7/2019	65.613,50	- 1.947,00
T20	17/7/2019	10.351,60	+ 5.549,80	17/7/2019	102.763,70	+ 37.150,20
T21	23/7/2019	5.051,60	- 5.300,00	23/7/2019	66.875,40	- 35.888,30
<b>Média</b>		<b>6.032,02</b>	<b>227,52</b>		<b>76.032,95</b>	<b>-2.239,68</b>

### 3.4 Avisos de mau tempo

Um total de duzentos e cinquenta (250) avisos foram emitidos entre os anos de 2004 e 2019 para a área *Charlie*, o que perfaz uma média de 15,63 avisos/ano. Os anos com o maior número de avisos (Figura 8) emitidos foram 2010 e 2016 (27), 2005 (24), 2011 (20), 2018 (19), 2006 e 2008 (18) e 2009 com 16 avisos. Os meses do ano com maior frequência foram maio, setembro, agosto, novembro, abril, julho e março (Figura 9).

Dentre os avisos emitidos, alguns de fato se tornaram ressaca e atingiram as duas áreas estudadas durante o interstício que foram realizados os sobrevoos: n° 378/2019, n° 705/2019 e n° 754/2019. A ressaca promoveu erosão nas regiões Norte e Sul, com 1.530,40 m<sup>3</sup> e 5.510,60 m<sup>3</sup>, respectivamente, conforme constatado nos sobrevoos realizados em 7/7/2019. Em 8/7/2019 foi realizado novo sobrevoos sobre a região Sul, onde novamente foi constatada erosão de 1.947,00 m<sup>3</sup>, mostrando o efeito continuado da ressaca.

Efeito contrário foi observado a partir do sobrevoos realizado dias após a emissão do aviso n° 754/2019, onde em ambas

as regiões foi observada acreção - 5.549,80 m<sup>3</sup> na região Norte e 37.150,20 m<sup>3</sup> na região Sul. A maior erosão registrada em ambas as regiões foi no último sobrevoos, ocorrido em 23/7/2019, com 5.300,00 m<sup>3</sup> na região Norte e 35.888,30 m<sup>3</sup> na região Sul. No entanto, na ressaca registrada nessa data não foram emitidos avisos de mau tempo pela Marinha do Brasil.

Na região de estudo predominam os ventos associados à Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que por sua vez podem sofrer a influência do ciclone extratropical, o que pode intensificar os ventos e persistir por alguns dias (Reboita *et al.*, 2010). Os ciclones extratropicais são centros profundos de baixas pressões migratórias, resultantes de oclusões, que se deslocam de Oeste para Leste a uma velocidade de 30 Km/h a 50 Km/h, sendo mais rápidos no inverno (Monteiro & Mendonça, 2014).

A ocorrência de vendavais no litoral além de estarem relacionadas com os sistemas frontais e convecções localizadas, também são originados de ciclones extratropicais. Esses fenômenos são comuns no litoral catarinense, principalmente

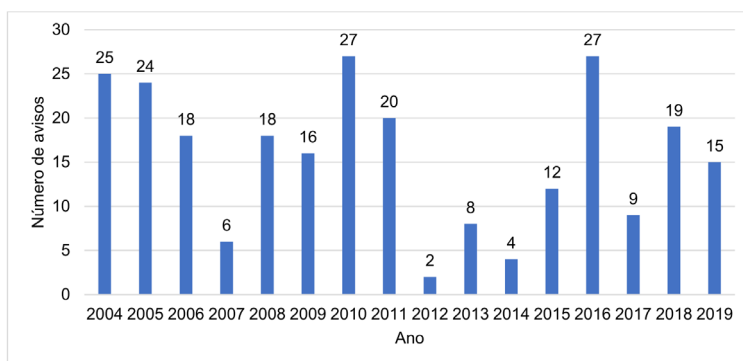


Figura 8. Frequência anual de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019. Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

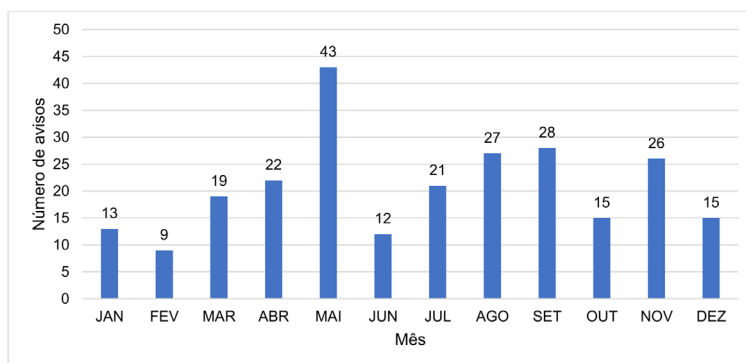


Figura 9. Frequência mensal de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019. Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

no período outono-primavera, com picos mais intensos e frequentes no inverno (Marcelino *et al.* 2014). A ocorrência desses fenômenos provoca mudanças sazonais na morfologia da praia, onde se observa erosão no período outono-primavera, e acreção no verão. As mudanças sazonais na morfologia praial tradicionalmente atribuída a uma variação no nível de energia das ondas incidentes com condições calmas no verão, resultando em praias amplas com bermas subaeriais pronunciadas e condições energéticas no inverno, causando praias estreitas com morfologia de barras próximas à costa devido a troca de sedimentos entre a praia emersa e a praia imersa (Masselink & Pattiratchi, 2001).

#### 4. CONCLUSÕES

A erosão costeira tem sido observada ao longo do litoral brasileiro em decorrência de diversos fatores sobretudo nos municípios que apresentam a linha de costa modificada do estado natural para antrópico (MMA, 2006; Oliveira, 2009; Araújo *et al.*, 2010; Machado, 2010; Schmidt *et al.*, 2013). Em Navegantes desde meados da década de 1960 esse processo vem ocorrendo, inicialmente pela construção da malha viária do município, especialmente a Avenida Beira Mar, posteriormente com a sua utilização como estacionamento durante a temporada de veraneio, e a instalação dos decks e calçadas, contribuíram para suprimir os remanescentes da restinga, o que deixou o solo exposto aos agentes atmosféricos e tempestades que erodiram o pacote sedimentar e culminaram nos danos à infraestrutura urbana.

Rangel-Buitrago *et al.* (2020) afirmam que o aumento da urbanização na zona costeira está diretamente relacionado com a erosão, sobretudo com a destruição de ecossistemas, e McLaughlin *et al.* (2002), consideram a ocupação antrópica ao longo da costa como a principal causa da erosão praial. A disposição de rochas onde deveria ser o sistema de dunas e a construção de muros de contenção (sea walls) visando proteger a orla frente aos sucessivos eventos meteorológicos (ressacas), são “soluções” paliativas, e necessita estar associada com outras medidas de médio e longo prazo para recompor o sistema de dunas e a restinga de modo a garantir a retenção e o provimento de volume sedimentar para ser remobilizados durante os eventos meteorológicos extremos, como forma de dissipar a energia destes fenômenos e proteger a praia.

Os resultados obtidos demonstraram que a região Norte (Praia do Gravatá) está bastante suscetível aos eventos meteorológicos extremos, com avançado estado de degradação da orla pela

quase inexistência de restinga, sofrendo grande erosão costeira.

A região Sul (Pontal), local onde o projeto experimental de dunas embrionárias proporcionou condições para a fixação de sedimentos e desenvolvimento da restinga, demonstrou-se um acréscimo considerável de área nos últimos anos, o que resulta na maior proteção da orla contra eventos meteorológicos extremos, demonstrando que esta ação, contribuiu para a estabilização de sedimentos transportados pelo sistema de correntes de deriva associados com a climatologia de ondas neste trecho da orla.

Ambos os locais estudados estão sujeitos aos eventos meteorológicos extremos, tendo apresentado tanto acreção quanto erosão. Entretanto, os efeitos são mais visíveis e sentidos na região Norte em virtude de possuir um volume muito menor de sedimento quando comparado com o volume fixado na região Sul.

A utilização do VANT no monitoramento da dinâmica sedimentar se mostrou rápido, eficiente e com reduzido custo operacional. As limitações de uso se dão pelas condições meteorológicas (ventos fortes, chuvas, tempo nublado) e pela legislação vigente. Cabe ressaltar que Navegantes possui um aeroporto, e os voos com VANT no cone de aproximação da pista são proibidos, exceto em ocasiões especiais ou mediante prévia autorização dos órgãos competentes. O nível de precisão do equipamento utilizado demonstra grande resolução, podendo apresentar números exatos que podem ser usados para a tomada de decisões no que diz respeito ao gerenciamento costeiro.

A metodologia do uso do VANT demonstra ser promissora e permite ser utilizada pelas secretarias municipais, fundações de meio ambiente, ONGs e demais autarquias e entidades que necessitem monitorar a orla marítima e fornecer subsídios para elaboração de projetos e tomada de decisões.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil, pela disponibilização de dados sobre os avisos de ressaca no mar e mau tempo, de modo especial à Primeiro-Tenente Fabiana Franco, ao Primeiro-Tenente Fellipe Romão Sousa Correia, ao Segundo-Sargento Eliézer da Cunha Santana e a Terceiro-Sargento Andreza de Lira Reis pela colaboração e disponibilização de informações da meteorologia marítima, à equipe do Centro de Documentação e Memória Histórica (CDMH) de Itajaí pela disponibilização do seu acervo para pesquisa e à PORTONAVE por permitir o uso

dos relatórios técnicos do Projeto Nossa Praia como referências para o trabalho.

A contribuição técnica e científica sobre a dinâmica de sedimentos da orla da praia do município de Navegantes servirá de base bibliográfica para análises de estudos ambientais, elaboração de projetos e monitoramentos relacionados a sedimentologia na faixa de areia e restinga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo R. et al. Variação da morfologia praial e identificação de zonas de erosão acentuada (ZEA) na enseada do Itapocoróí – SC. *Brazilian Journal Aquatic Science Technology* [S.l.], v. 14 (1), p. 29-38. 2010.

Araujo, R. S.; Klein, A. H. F.; Petermann, R. M. *Determinação do Índice de Sensibilidade do Litoral ao Derramamento de Óleo (Isl) para as Regiões Norte e Centro-Norte do Estado de Santa Catarina (SC)*. 2005. 190 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar Itajaí, SC., 2005.

Bonetti, J.; Rudorff, F. M.; Campos, A. V.; Serafim, M. B. Geoindicador-based assessment of Santa Catarina (Brazil) Sandy beaches susceptibility to erosion. *Ocean & Coastal Management*: n. 156, p. 198-208. 2018.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999. Aprova parâmetros básicos para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. DOU nº 146, de 2 de agosto de 1999. Seção 1, páginas 29-31.

Del Vecchio, S.; Jucker, T.; Carboni, M.; Acosta, A. T. R. 2017. Linking plant communities on land and at sea: the effects of *Posidonia oceanica* wrack on the structure of dune vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 184: 30-36. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.041>. Acessado em 6/2/2019.

Dominguez, J. M. L.; Guimarães, J. K.; Bittencourt, A. C. da S. P. *Alagoas, Sergipe e Bahia*. p. 381-432). In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. *Panorama da erosão costeira no Brasil* [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização Dieter Muehe. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

Eamer, J. B. R.; Walker, I. J. 2010. Quantifying sand storage capacity of large woody debris on beaches using LiDAR. *Geomorphology* 118: 33-47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.12.006>. Acessado em 6/2/2019.

Gujar, A. R.; Ganesan, P.; Iyer, S. D. Gaonkar, S. S.; Ambre, N. V.; Loveson, V. J. Mislankar, P. G. Influence of morphodynamic variability over seasonal beach sediments and its probable effect on coastal development. *Ocean & Coastal Management*: n. 54, p. 514-523. 2011.

Horn Filho, Norberto Olmiro. Ilha de Santa Catarina. In: Muehe D. (ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. P. 413-436.

Horn Filho, N. O.; Schmidt, A. D.; Abreu, J. G. N.; Estevam, C. N.; Araujo, R. S. Santa Catarina. In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. *Panorama da erosão costeira no Brasil* [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental e Territorial; Organização Dieter Muehe. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/navegantes/panorama> . Acessado em: 18/5/2021.

Klein, A. H. F. *Morphodynamics of headland bay beaches*. Algarve: Universidade do Algarve, 2004. 450p. PhD Thesis.

Klein, A. H. F. et al. Litoral Centro-norte de Santa Catarina. In: Dieter Muehe. (ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. p. 402-412.

Lins-de-Barros, F.; Zeidan, F.; Lima, R. F. Adaptação e percepção da população a eventos de ressaca no mar no litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*: v. 16, n. 2, 15 p. 2016.

Machado B. V. *Mapeamento e análise de obras de engenharia costeira no litoral do estado de Santa Catarina*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2010. 251p. Monografia. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar.

Marcelino, I. P. V. O.; Marcelino, E. V.; Oliveira, C. A. F.; Alves, D. B. Vendaval. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 5-12.

Marcelino, I. P. V. O.; Moller, G. S. F.; Goerl, R. F.; Marcelino, E. V.; Moreno, D. A.; Rudorff, F. M.; Oliveira, C. A. F.; Alves, D. B.; Herrmann, M. L. P.; Debortoli, N. S.; Murara, P. G. Adversidades atmosféricas no Estado de Santa Catarina no período de 1980 a 2010. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 13-82.

Marinha do Brasil. Centro de Hidrografia da Marinha. Divisão de Previsões Meteorológicas. Avisos de mau tempo para a área “Charlie” entre os anos de 2004 e 2019. 2020.

Masselink, G.; Pattiaratchi, C. B. Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. *Marine Geology*: n. 172. P. 243-263. 2001.

McLaughlin, S.; McKenna, J.; Cooper, J. A. G. Socioeconomic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Resources*: n. 36, p. 487-497. 2002.

Medeiros, E. C. S.; Maia, L. P.; Araújo, R. C. P. Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia de Icaraí). Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*: v. 16, n. 2, 9 p. 2016.

- Menezes, J. T.; Klein, A. H. F. 1997. Variações Morfológicas das Praias do Litoral Centro Norte do Estado de Santa Catarina. In: X Semana Nacional de Oceanografia, 1997, Itajaí. *Anais da X Semana Nacional de Oceanografia*, Itajaí (SC), 1997. 58-60p.
- Menezes, J. T. *Alimentação artificial do segmento praias Navegantes/Gravatá*. SC. 2002. 114 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.
- Menezes, J.T. e Klein, A. H.F. 2002. *Método de Análise da Vulnerabilidade Costeira à Erosão*. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Pg. 1-4.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA. *Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada*. Brasília: MMA/SQA; Brasília: MP/SPU, 2006. 74p. ISBN 85-7738-029-7. 2006.
- Monteiro, M. A.; Mendonça, M. Dinâmica Atmosférica no Estado de Santa Catarina. In: Herrmann, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 5-12.
- Montreuil, A.; Bullard, J.; Chandler, J. H.; Millett, J. Decadal and seasonal development of embryo dunes on an accreting macrotidal beach: North Lincolnshire, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*: n. 38, p. 1851-1868, 2013.
- Navegantes. Decreto nº 259 de 7 de maio de 2001. Declara em estado de calamidade pública áreas que especifica no Município de Navegantes e dá outras providências. Data de inserção no Sistema Leis Municipais: 30/8/2006. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/sc/n/navegantes/decreto/2001/26/259/decreto-n-259-2001-declara-em-estado-de-calamidade-publica-areas-que-especifica-no-municipio-de-navegantes-e-da-outras-providencias?q=decreto+259%2F2001> Acessado em 5/3/2021.
- Navegantes. Decreto nº 181 de 31 de outubro de 2016. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestade (ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2114, de 1/11/2016. Página 322.
- Navegantes. Decreto nº 435 de 8 de setembro de 2017. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestades (ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2336, de 11/09/2017. Página 915.
- Navegantes. Determinação – FUMAN inicia retirada de quiosques das dunas. Notícia publicada no site da Prefeitura em 19/6/2021. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/6803/determinacao-fuman-inicia-retirada-de-quiocques-das-dunas> Acessado em 26/1/2021.
- Navegantes. Projeto de recuperação da praia de Navegantes já é desenvolvido desde 2010. Notícia publicada no site da Prefeitura em 30/10/2017. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/11310/projeto-de-recuperacao-da-praia-de-navegantes-ja-e-desenvolvido-desde-2010> Acessado em 26/1/2021.
- Oliveira U. R. *Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 222 p. PhD Thesis.
- Porto de Itajaí. Histórico. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br/novo/c/historia>. Acessado em: 20/6/2020.
- Rangel-Buitrago, N.; Neal, W. J.; Jonge, V. N. Risk assessment as tool for coastal erosion management. *Ocean & Coastal Management*: n. 186, 15 p. 2020.
- Reboita, M. S.; Gan, M. A.; Rocha, R. P.; Ambrizzi, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*: v. 25, n. 2, p. 185-204. 2010.
- Schettini, C. A. F.; Carvalho, J. L. B.; Jabor, P. 1996. Comparative hydrology and suspended matter distribution of four estuaries in Santa Catarina State – Southern Brazil. In: Anais, *Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries*. Bahía Blanca, 1996.
- Schmidt A. D.; Horn Filho N. O.; Estevam C. N. Estratégias adotadas para conter a erosão costeira no litoral de Santa Catarina, Brasil. In: Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 7., Maputo, *Short Papers*, 2013. p. 1-12.
- Serafim, M. B.; Siegle, E.; Corsi, A. C. Bonetti, J. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of Environmental Management*, v. 230, p. 21-32. 2019.
- Serraglio, J. Entre Balneários e Pontais: a invenção da paisagem em Navegantes. In: Andrade, F. C. D.; Carvalho, M. C. W.; Miranda, N. *Rumo a Navegantes*. São Paulo: M. Carrilho Arquitetos, 2014. 192 p.: il. Color. – (Paisagens Culturais Brasileiras).
- Sherman, D. J.; Bauer, B. O. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*, 17, 4 (1993) p. 413-447.
- Short A. D. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. England: Wiley, 1999. 379 p.
- Van Puijenbroek, M. E. B.; Limpens, J.; Groot, Riksen, M. J. P. M.; Gleichman, M.; Slim, P. A.; Van Dobben, H. F.; Berendse, F. Embryo dune development drivers: beach morphology, growing season Precipitation, and storms. *Earth Surface Processes and Landforms*: n. 42, p. 1733-1744. 2017.
- Yoo, C. I.; OH, T. S. Beach volume change using UAV Photogrammetry Songjung Beach, Korea. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Vol. XLI-B8, 2016. XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. p. 1201-1205.





## QUANTIFYING SURFACE WATER DECREASING IN SEGARA ANAKAN LAGOON

Feril Hariati<sup>1, 2</sup>, Harman Ajiwibowo<sup>3</sup>, Muhammad Kusuma<sup>1</sup>, Mohammad Adityawan<sup>1</sup>

**ABSTRACT:** Segara Anakan is the largest mangrove-fringed lagoon on the south coast of Java Island. It is a productive coastal system that provides environmental services for the community in the vicinity of the lagoon, such as fisheries production and tourism. Right now, the lagoon is facing surface water shrinking due to the intensive sedimentation process. The fishing ground area becomes limited; thus, the fisherman should sail further to the sea zone to catch fish. To quantify the lagoon's surface water decreasing rate, we applied a spatial analysis method. Historical cartographic maps and satellite images of Segara Anakan were digitised using ArcMap. We used a reclassification tool to classify land and water for the satellite image before digitising it. The result showed that the lagoon's surface water area decreased from 65 km<sup>2</sup> in 1942 to 8.5 km<sup>2</sup> in 2017. Since the lagoon received freshwater supply from Citanduy River, we applied Universal Soil Loss Equation (USLE) to calculate sediment supply from the watershed. The result showed that from 2005 to 2016, the average sediment supply reached 3 mm/year or equal to 22 million tons/year. The highest sediment supply rate occurred in 2010 at 5.14 mm/year or similar to 43 million tons/year. Linking between integrated coastal zone management with watershed management should be implemented to reduce the rate of sedimentation.

**Keywords:** Segara Anakan, Lagoon, Morphology change, GIS, USLE.

**RESUMO:** Segara Anakan é a maior lagoa costeira de mangue na costa sul da Ilha de Java. É um sistema produtivo costeiro que presta serviços ambientais à comunidade do entorno da lagoa, como pesca e turismo. Atualmente, a lagoa enfrenta a redução da superfície livre devido ao intenso processo de sedimentação. As áreas disponíveis para a pesca tornam-se limitadas, pelo que esta atividade tem que ser realizada mais próxima do mar. Para estimar a taxa de diminuição da área superficial da lagoa, procedeu-se à sua quantificação com uma frequência anual. Recorreu-se a uma abordagem de análise espacial. Foram utilizados mapas cartográficos históricos e foram digitalizadas imagens de satélite da lagoa Segara Anakan usando o programa ArcMap. Utilizou-se ainda uma ferramenta para classificar as áreas terrestres e de água em cada imagem antes de se proceder à respetiva digitalização. Os resultados mostraram que a área da lagoa diminuiu de 65 km<sup>2</sup> em 1942 para 8,5 km<sup>2</sup> em 2017. Para comparar a taxa de diminuição da superfície da lagoa com o fluxo de sedimentos da bacia hidrográfica, foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo (USLE). Os resultados mostraram ainda que de 2005 a 2016 o fluxo médio de sedimentos foi de 3 mm/ano ou 22 milhões de toneladas/ano. O maior fluxo de sedimentos ocorreu em 2010 com um valor de 5,14 mm/ano ou 43 milhões de toneladas/ano, coincidindo com o ano com maiores volumes de precipitação. A integração da gestão da zona costeira com a gestão de bacias hidrográficas deverá ser perseguida para se reduzir a taxa de sedimentação na lagoa costeira.

**Palavras-chave:** Segara Anakan, Lagoa, Mudança morfológica, GIS, USLE.

---

@ Corresponding author: [harman.ajiwibowo@gmail.com](mailto:harman.ajiwibowo@gmail.com)

1 Water Resources Engineering Research Groups, Civil Engineering Department, Engineering Faculty of Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

2 Civil Engineering Department, Faculty of Engineering and Science, University of Ibn Khaldun Bogor

3 Coastal Engineering Research Group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Submission: 16 JUL 2021; Peer review: 26 JUL 2021; Revised: 27 MAR 2023; Accepted: 27 MAR 2023; Available on-line: 2 MAY 2023

## 1. INTRODUCTION

Coastal lagoons are estuarine basins separated from the ocean by barriers, such as coastal dunes, sand spits, or barrier islands (Kjerfve, 1994; Conde *et al.*, 2015). If the barrier enclosing a lagoon is interrupted by one or more permanent tidal entrances, it is essentially an estuarine system. If the barrier completely excludes a lagoon from the sea, it becomes a coastal lake, fresh in regions of high rainfall and brackish or even hypersaline in arid areas (Emery & Stevenson, 1957). The ebb and flow of tidal current are generally maintaining the lagoon's entrance. Commonly, a small tidal range made the lagoon entrance sealed off periodically. During the dry season, river discharge is slight. Due to waves and longshore currents deposition, the lagoon's outflow is insufficient to prevent the entrance from closing. The coastal lagoon is a valuable ecosystem. It is a highly productive and ideal system for aquaculture. Coastal lagoon-barrier environments occupy 13% of the coastal areas worldwide (Kennish, 2002; Duck & da Silva, 2012). Any change in the lagoon could lead to environmental degradation.

A coastal lagoon and its catchment area are dynamic at any time scale. It is susceptible to change (Mohanty & Panda, 2000). Rising populations caused the increasing lagoon's utilisation by humans and resulted in environmental changes. Some changes are visible, for example, destruction of habitat, but many are long-term, gradual, or not visible to the human eye. Monitoring a lagoon over time provides essential information for maintaining its ecosystem. It also provides a baseline to compare with the future measures taken to manage the lagoon. It is necessary to understand the cause of any changes and how it changes to handle the lagoon properly.

Segara Anakan is the largest lagoon on the south coast of Java Island, with a unique morphology (Fig.1). It is separated from the Indian Ocean by Nusakambangan Island, a high-security prison island that keeps its water from waves and storms. During Tsunami Pangandaran in 2006 (Hadihardaja *et al.*, 2011), the lagoon and its vicinity were safe from the wave attack. However, most of the coastal areas near the lagoon were severely damaged (Hilmi, 2018). The lagoon has two opening Plawangan Barat and Plawangan Timur, that connecting the lagoon with the Indian Ocean. Tidal action from the Indian Ocean influences the lagoon's water level. The ocean tide is semi-diurnal, with a tidal range of 1.4 m at spring tide and 0.4 m at neap tide. Plawangan Barat is shorter, deeper, wider, and more critical for tidal action and carries a much more significant proportion of tidal water. Plawangan Timur is long, shallow, and narrow. The propagation

of tidal action from this opening to the lagoon is less significant (Holtermann *et al.*, 2009).

The lagoon is divided into two major water bodies. The first part covers the western and central lagoon and receives freshwater supply from three major rivers (Citanduy, Cibeureum, and Cikonde). The catchment area of Segara Anakan is 4,472 km<sup>2</sup>. Citanduy River is a part of the Segara Anakan watershed, with a catchment area of 3,648 km<sup>2</sup>. Citanduy contributes about 80% of the total freshwater supply to the lagoon. The freshwater flows to the ocean through the Plawangan Barat. The second part is the east part, where the major river is Donan river, with a catchment area of 170 km<sup>2</sup> and discharging its freshwater directly to the open sea (Holtermann *et al.*, 2009). The lagoon's central part is connected to the east part through the Kembang Kuning River (Figure 1). The freshwater and seawater's interaction keeps the lagoon's water average salinity around 25 ppt (brackish) and makes it essentially an estuarine system (Hariati *et al.*, 2019).

The lagoon is undergoing a long-term morphology change. Its surface water area is decreasing from time to time and threatening the community's socio-economic living in the lagoon's vicinity. The lagoon water is suitable for spawning grounds. Therefore, many fish from the ocean migrated to the lagoon for reproduction (Ardli & Wolff, 2009; Yuwono *et al.*, 2007). The shrinking of the lagoon also could be threatening national security. The prison island will be more accessible (Handayani *et al.*, 2019)

Previous studies had already shown that decreasing of the lagoon's surface water area is mainly caused by an increase in sedimentation from natural processes, poor upland management, and the development of lowland areas for paddy cultivation (Jennerjahn *et al.*, 2007; Parwati *et al.*, 2010; Setyawan, 2010). Land-use changes, especially those associated with the intensification of shifting agriculture in subsistence economies, induce vegetation cover types and spatial structure changes (Boothroyd *et al.*, 2020) and should be considered the lagoon management's primary concern. This research provides the most updated information on morphological changes in the Segara Anakan lagoon. The objectives of the study are to assess surface water evolution and the impact of the lagoon conservation project to control the shrinking process.

## 2. MATERIALS AND METHODS

The shoreline change of the lagoon could show the dynamics of surface water. Mathematical models (Salim *et al.*, 2006) and

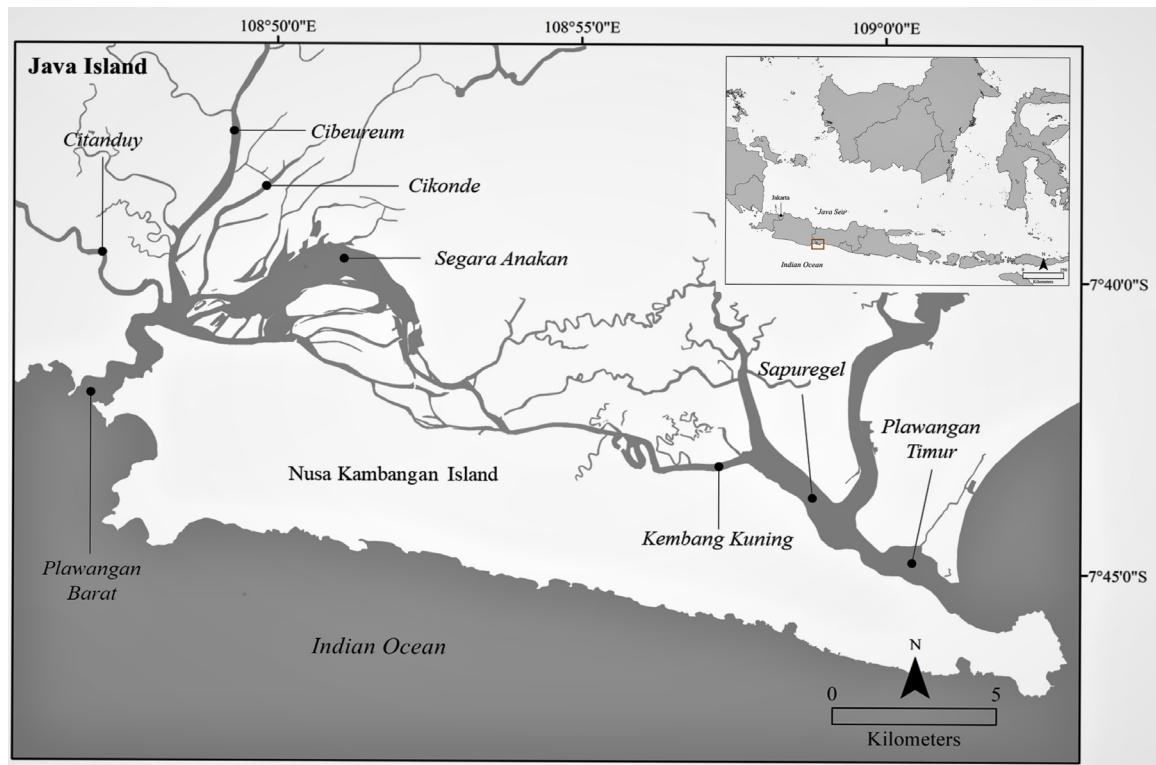


Figure 1. Landscape of Segara Anakan. Lower Citanduy is the administrative borderline between West Java and Central Java Province. The map was obtained from Badan Informasi Geospasial and digitised using ArcMap.

numerical analyses (Ding *et al.*, 2019; Chrysanti *et al.*, 2019; Iglesias *et al.*, 2019) could be applied to identify shoreline change. The model should be verified and calibrated by the actual morphology change taking place in the area. The Artificial Neural Network method (Gunawan *et al.*, 2017; Bagheri *et al.*, 2019; Zeinali *et al.*, 2021) also could be used to analyse the changes of the shoreline. Detailed hydrology and oceanology data are required to model the change.

Rogan and Chen (2004) used satellite data to map and monitor changes from continental to local and temporal scales. Mapping using remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) has proven adequate to address problems inherent in analysing spatial data. Spatial and temporal data are collected, archived, analyses, and modelled with the GIS tool (Stansbury & Starr, 1999). It may also combine scientific and cultural data to assess and manage marine and coastal habitats (Klemas *et al.*, 2000). Using remote sensing data, such as satellite images, can provide spatial analysis repetitively and continuously covering a relatively large area. It is less time consume and cheaper (Nandi, 2018).

In this research, we used two images type; cartographic map for 1942 and 1978 morphology and satellite image for 1996, 2005, and 2017 morphology. We obtained cartographic data from <https://maps.lib.utexas.edu/maps/ams/indonesia>, and satellite images from Landsat-7 through Google Earth Engine. The process to extract shoreline is pretty different for each image. We should eoreferenced the cartographic map before digitise it. For satellite images, we applied a reclassify tool to differentiate between water and land before digitise. A Digital Elevation Model was used to define the vertical datum (zero elevation), that is associated with the shoreline boundary. After, we compiled all shorelines for each map, set up the border of the surface water area using a transect line and further calculated the surface water area.

Since the lagoon receives a large volume of fresh water supply from Citanduy River, we assumed a correlation between sediment supply from the river with the shrinkage process of the lagoon should exist. We calculated the sediment supply from the Citanduy watershed by applying the Universal Soil Loss Equation (USLE). It is an empirical land erosion equation (Wischmeier and

Smith 1978), and recommended to estimate the erosion rate of the Indonesian rivers with limited field data (Yustika *et al.*, 2019; Kusuma *et al.*, 2020). The USLE equation is expressed as:

$$A = R \times L \times L_s \times C \times P \tag{1}$$

where A represents the potential long-term average annual soil loss in tonnes per hectare; R is the rainfall and run-off factor, dependent on the geographic location in cm; K is the soil erodibility factor in tonnes per hectare; LS is the slope length factor (dimensionless); C is the crop factor (dimensionless); and P is the soil management factor (dimensionless).

### 3. RESULTS

#### 3.1 Long Term Morphology Change

To quantify surface water area of the lagoon in 1942, the old cartographic map of Segara Anakan was digitized (Figure 2). The surface water area was extensive, but accretion land had already developed with a total area of about 0.9 km<sup>2</sup>. There was a rocky barrier island in front of the Plawangan Barat channel, with an area of about 0.16 km<sup>2</sup>. It divided the entrance channel into two parts (Figure 2).

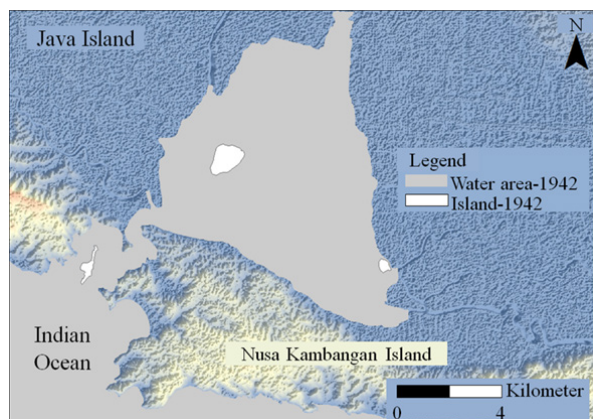


Figure 2. Morphology of Segara Anakan lagoon in 1942. Obtained from the University of Texas and digitised using ArcMap.

The surface water area in 1978 was decreased about 50% compared to 1942. North, east, and south part of the lagoon entirely became land. Accretion land in the central lagoon became wider, approximately 4 km<sup>2</sup>, or almost four times in 36 years. The barrier island in Plawangan Barat became closed to the main island. From Figure 3, we can see that the coastline of Plawangan Barat (behind the barrier island) was accreted.

In 1996, the north part of the lagoon was transformed into land and decreased its water surface area. This period corresponds to a significant change in the lagoon’s morphology. For 18 years, surface water area was shrunk from 35.53 km<sup>2</sup> in 1978 to 12.49 km<sup>2</sup> in 1996. Accretion lands were formed in the centre of the lagoon. Change also happen in Plawangan Barat. Nusakambangan became closer to the main island. In 1942 and 1978, the barrier island in Plawangan Barat’s mouth was separated from the main island. In 1996, this island was merged with the main island. The width of Plawangan Barat’s mouth became narrower (Figure 4). Barrier Island protects the area behind it by reducing wave energy. However, it also can cause sediment deposition that makes it moves landward (Hoyt & Henry, 1967).

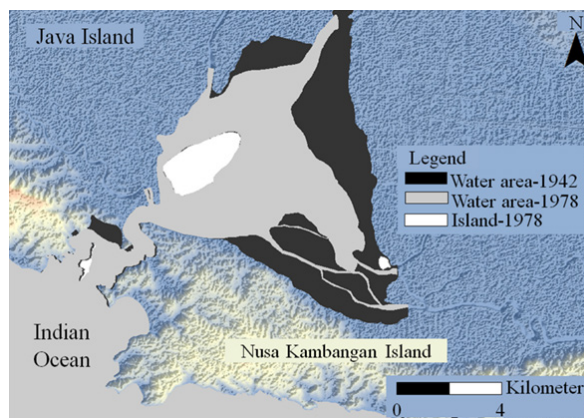


Figure 3. Comparison between 1942's and 1978's morphologies. North, east, and south part of the lagoon became land. At the same time, the accretion land in the central part became wider. Digitised using ArcMap and obtained from the University of Texas.

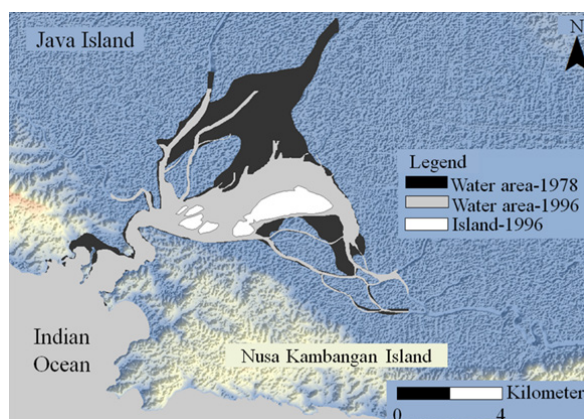


Figure 4. Comparison between 1978's and 1996's morphologies. The water area was shrunk and changed into the land.

The shrinking process of the lagoon continued. In 2005, the area of accretion lands was expansive and left the surface water

area to 9.22 km<sup>2</sup> (Figure 5). In 2017, small water channels between the accretion islands were closed entirely due to the continuous sedimentation process. Two new accretion lands were formed, and the previous area was wider than in 2005 (Figure 6). The surface water area of the lagoon was decreased to 8.53 km<sup>2</sup>. From previous studies, the lagoon was predicted to be completely closed in around 2012 (Sari *et al.*, 2016) and 2017 (Lugra & Setiady, 2018), but it still exists today. Trend analysis was applied to find out the pattern of surface water decreasing. Assumed that the lagoon is never closed due to equilibrium state with concern to sea level, river discharge, and tidal current (Olsen *et al.*, 1993; Friedrichs *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 2013), the data fitted with an exponential function with a determination coefficient (R<sup>2</sup>) equal to 0.93 meaning strong correlation between time and area decreasing (Figure 7). Therefore, monitoring the present condition of the lagoon should be considered.

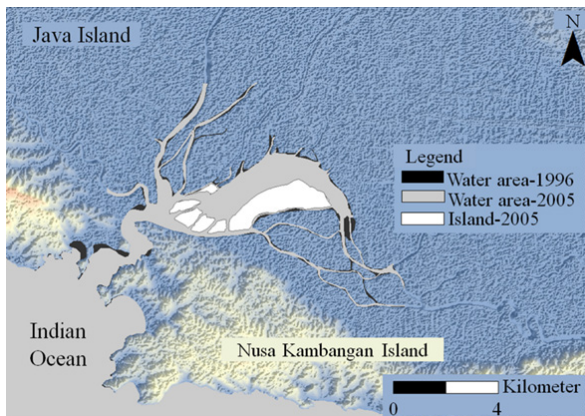


Figure 5. Difference morphology for 1996 and 2005. It shows the growing island

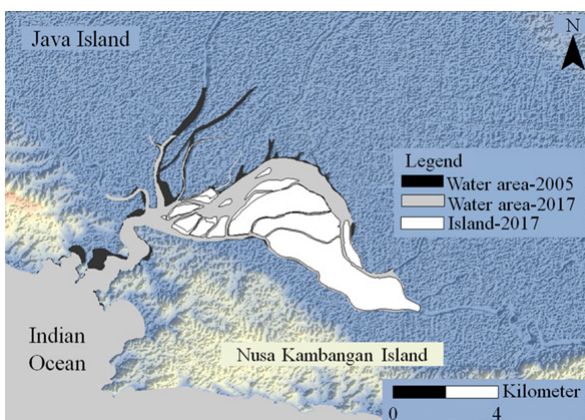


Figure 6. In 2017, new accretion islands were formed. The water area on the central lagoon became narrow.

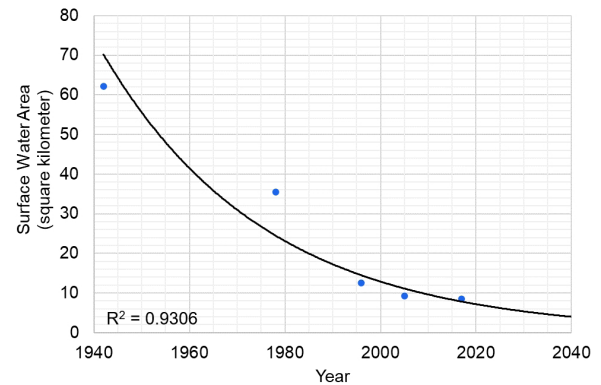


Figure 7. Trend analysis of surface water area decreasing.

### 3.2 Quantification of Sediment Yield

Sedimentation in the coastal lagoon is a natural process. But uncontrolled sedimentation will lead to environmental degradation. Due to urbanisation, land use and land cover change in the Citanduy watershed and coastal region caused several problems. These include rural encroachment on agricultural land, land reclamation from swamps, silt deposition in the lagoon, and decreased fishery catches (Lukas, 2017).

The delivery process of river sediment to the lagoon is complex. Still, it can be simplified as a linking process of upland erosion, downstream sediment transport, and sedimentation in the coastal zone (Phillips, 1991). Thus, estimating the land erosion in the watershed can be related to the lagoon's surface water's decreasing trend. USLE method was applied to estimate the amount of sediment supply from land erosion. Since the available data are limited to a specific period, the sediment supply trend from land erosion was provided from 2005 to 2016 (Table 1).

Trend analysis was applied to analyse the relationship between surface water and upstream sediment supply (Figure 8). The sediment supply from the watershed pattern is increasing throughout the years. However, the correlation is weak since the two points (2010 and 2016) were outliers. Considering the parameters used in USLE, rainfall and run-off coefficient in 2010 and 2016 were extremely high and affected the amount of sediment supply, which possibly has an impact of strong La Nina in 2010, and El Nino 2015 (Atmadipoera *et al.*, 2020).

Table 1. Amount of land erosion in Citanduy Watershed.

Year	R	C	A		
			x10 <sup>6</sup> (ton/ha/yr)	m <sup>3</sup>	(mm/yr)
2005	2774	0.16	22	7,940,127	2.53
2006	2576	0.16	16	5,900,173	1.88
2007	2589	0.16	16	6,025,709	1.92
2008	2511	0.16	14	5,209,727	1.66
2009	2755	0.16	21	7,720,439	2.46
2010	3573	0.16	43	16,162,709	5.15
2011	2743	0.16	21	7,563,520	2.41
2012	2841	0.16	23	8,567,805	2.73
2013	2844	0.16	23	8,599,189	2.74
2014	2843	0.16	23	8,567,805	2.73
2015	2768	0.14	21	7,783,207	2.48
2016	3290	0.15	35	13,181,238	4.20

Note: Parameter K, Ls, and P were constant. R is rainfall and run-off coefficient; C is crop factor.

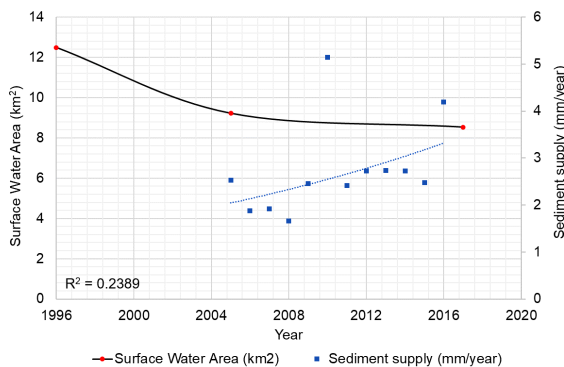


Figure 8. Trend analysis of sediment supply from the watershed

#### 4. THE GOVERNMENT’S INTERFERENCE IN THE LAGOON MANAGEMENT

Integrated coastal zone management had been implemented to save the lagoon from shrinkage; from 1987 to 1999, a Community-Based Coastal Resources Management Project was executed. The goal of this project was to improve community development and marine protected areas. The project did not show any progress in reducing sediment accumulation (Farhan & Lim, 2011). The Government of Indonesia set up another project with an Asian

Development loan in 1997. The project aimed to save The Segara Anakan Lagoon from the continuous shrinking process.

The project implemented a dredging activity started in 2003. It delivered about 9.30 million m<sup>3</sup> of sediment from 5.12 km<sup>2</sup> of the lagoon area. It widened the central lagoon’s surface water area from 6.00 km<sup>2</sup> in 2002 to 8.50 km<sup>2</sup> in 2005. Since sediment from the lagoon was silty soil, which is usually more fertile than other soil types, it was disposed at land in the vicinity of the lagoon. It enriches existing agricultural land and converts some non-productive land into residential or agricultural land, which benefits the local community. The Government provided 3.5 billion IDR to acquire around 7.50 km<sup>2</sup> of land for sediments disposal. Although dredging was a practical activity to keep the surface water area from shrinking, it was very expensive. During the dredging process, the local community demanded compensation for a temporary disruption of fishing caused by dredging works. The Governments of Central Java Province and Cilacap district initially provided compensation of 5 million IDR per fishing net, but this led to fishers making nets to acquire compensation. The compensation issue was eventually resolved, with the provincial Government providing a total of 1.4 billion IDR for about 150 owners of fishing nets (Asian Development Bank Indonesia, 2006).

In 2006, Citanduy Watershed Management Bureau took responsibility for managing Segara Anakan. The scope works were to preserve the lagoon by linking the land-use change in the upper part with sedimentation in the lower part of a watershed (Meigh & Bartlett, 2010). About 72 sedimentation trap structures were built from 2009 to 2014. While the Project conserved soil mainly as planned, the area covered was insufficient to reduce sediment flows significantly. There was no viable plan created for their upscaling after project completion using Government resources. The conservation of Segara Anakan was done in 2013. Around 1.35 million cubic meters of sediments were dredged from the lagoon. Meanwhile, the surface water area was not changed significantly.

Anthropogenic and natural influences played an important role in environmental changes. Understanding the significant role of social, political, and economic factors that had driven these changes should be considered (Manez, 2010). Managing Segara Anakan should be integrated. Linking watershed management with coastal zone management is the best practice to solve its problems.

## 5. CONCLUSIONS AND DISCUSSION

From developed morphological map of the lagoon, the quantity and the process of lagoon's surface water decreasing area can be identified. The decreasing rate of lagoon's water surface from 1942 to 2017 is about 0.72 km<sup>2</sup> per year. The surface water area in north part of lagoon was change into the land, due sedimentation. The rapid change was occurred between 1978 and 1996, with the decreasing of surface water rate reach 1.90 km<sup>2</sup>/year. Between 1996 to 2005 the decreasing rate was about 1.30 km<sup>2</sup>/year, and from 2005 to 2017 was about 0.77 km<sup>2</sup>/year. The decreasing of lagoon's surface water rate had a good agreement with the rate of sediment supply. The average sediment supply from 2005 to 2016 was about 7,387,770 m<sup>3</sup>/year. Without considering the sediment delivery ratio, with the average depth of central lagoon was 6.00 m, the area of accretion land could be formed was about 1.65 km<sup>2</sup>/year, whilst result from the map is about 0.77 km<sup>2</sup>/year.

Segara Anakan lagoon is a vital coastal resource for Java Island, enclosing a water body rich in nutrients, and suitable for nursery grounds for fish, shrimp, and crab. Therefore, decreasing the lagoon's water area has ecological and socio-economic impacts on the local community. Monitoring any change in the lagoon is essential. The satellite image is proving to be a good tool

for monitoring purposes. The satellite image shows not only the spatial changes of the lagoon but also the process of the change. The main cause of the shrinkage of the lagoon's water area was the sedimentation from the land area in the vicinity of the lagoon. The land erosion analysis was implemented to find out the amount of potential sediment entering the lagoon. The lagoon's stakeholders could use this method to monitor future changes in the lagoon.

## AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT

Feril Hariati, conceptualization, methodology, GIS analyst, manuscript writing; Harman Ajiwibowo, USLE analysis, manuscript writing and review; M. Syahril Badri Kusuma, review and supervising; M. Bagus Adityawan, manuscript writing and review.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors thank to the Directorate of Higher Education of Government of Indonesia and LPDP for post graduate scholarship, to Magister and Doctoral Study Program of Institut Teknologi Bandung, the Authority of Citanduy's Watershed for providing the data, and last but not least Universitas Ibn Khaldun Bogor for funding the research.

## REFERENCES

- Ardli, E.R.; Wolff, M. (2009) - Land use and land cover change affecting habitat distribution in the Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Regional Environment Change*, 9(4):235-43. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-008-0072-6>
- Asian Development Bank Indonesia. (2006) - Segara Anakan Conservation and Development Project. Unpublished
- Atmadipoera, A.S., Jasmine, A.S., Purba, M. and Kuswardani, A.R., 2020. Upwelling Characteristics in The Southern Java Waters During Strong La Nina 2010 and Super El Nino 2015. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), pp.257-276. DOI: <http://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.28977>
- Badan Informasi Geospasial. (2021) - INA-Geoportal. 2021. <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>
- Bagheri, M.; Ibrahim, Z.; Mansor, S.; Abdul, M.L.; Badarulzaman, N.; Vaghefi N. (2019) - Shoreline change analysis and erosion prediction using historical data Kuala Terengganu, Malaysia. *Environmental Earth Science*, 78, 477. DOI : <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8459-x>

- Boothroyd, R.J.; Williams, R.D.; Barrett, B.; Hoey, T.B.; Tolentino, P.L.M.; Perez, J.E.; Guardian, E.; David, C.P.; Yang, X. (2020) - Detecting and quantifying morphological change in tropical rivers using Google Earth Engine and image analysis techniques. In *River Flow 2020*: 1013-1021. CRC Press. Available online at: [https://www.researchgate.net/publication/345979167\\_Detecting\\_and\\_quantifying\\_morphological\\_change\\_in\\_tropical\\_rivers\\_using\\_Google\\_Earth\\_Engine\\_and\\_image\\_analysis\\_techniques](https://www.researchgate.net/publication/345979167_Detecting_and_quantifying_morphological_change_in_tropical_rivers_using_Google_Earth_Engine_and_image_analysis_techniques)
- Chrysanti, A.; Adityawan, M.B.; Widyaningtyas; Pramono, Y.B.; Nugroho, J.; Zain, K.; Haryanto, I.; Sulaiman, M.; Kurniawan, A.; Tanaka, H. (2019) - Prediction of shoreline change using a numerical model: the case of the Kulon Progo Coast, Central Java. *MATEC Web Conference*, Vol. 270. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927004023>
- Conde, J.; Vitancurt, L.; Rodríguez-Gallego, D.; de Álava, N.; Verrastro, C.; Chreties, S.; Solari, L.; Teixeira, X.; Lagos, G.; Piñeiro, L.; Seijo, H.; Caymaris, D.; Panario. (2015) - Chapter 13 - Solutions for sustainable coastal lagoon management: From conflict to the implementation of a consensual decision tree for artificial opening, Editor(s): Juan Baztan, Omer Chouinard, Bethany Jorgensen, Paul Tett, Jean-Paul Vanderlinden, Liette Vasseur, *Coastal Zones*, Elsevier, pp. 217-250, ISBN 9780128027486. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802748-6.00013-9>.
- Ding, Y.; Kim, S.; Permenter, R.L.; Styles, R.; Beck, T.M. (2019) - Cross-shore sediment transport for modeling long-term shoreline changes in response to waves and sea-level changes. *Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Conference Coastal Sediment 2019*. ISBN: 978-981-120-449-4 (ebook), pp. 27-31. DOI : [https://doi.org/10.1142/9789811204487\\_0196](https://doi.org/10.1142/9789811204487_0196)
- Duck, R.; da Silva, J. (2012) - Coastal lagoons and their evolution: a hydro-morphological perspective. *Estuary Coastal Shelf Science*, 110:2-14. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.03.007>
- Emery, K. O.; Stevenson, R. E. (1957) - Chapter 23: Estuaries and Lagoons: I. Physical and Chemical Characteristics in Hedgpeth, J. W. (ed.) *Treatise on Marine Ecology and Paleocology*. Geological Society of America, 67(V1):673-693. O. DOI: <https://doi.org/10.1130/MEM67V1-p673>
- Farhan, A.; Lim, S. (2011) - Resilience assessment on coastline changes and urban settlements: A case study in Seribu Islands, Indonesia. *Ocean Coastal Management*, 54(5):391-400. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.12.003>
- Friedrichs, C.T.; Armbrust, B.A.; DeSwart, H.E. (1998) - Hydrodynamics and equilibrium sediment dynamics of shallow, funnel-shaped tidal estuaries. In: *VIMS Books and Book Chapters* [Internet]. Balkema Press; 1998. p. 38. Available On-line at; <https://scholarworks.wm.edu/vimsbooks/38>
- Gunawan, T.; Kusuma, MB; Cahyono, M.; Nugroho, J. (2017) - The application of backpropagation neural network method to estimate the sediment loads. *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, Vol. 101. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710105016>
- Hadihardaja, I.K.; Latief, H.; Mulia, IE (2011) - Decision support system for predicting tsunami characteristics along coastline areas based on database modeling development. *Journal of Hydroinformatics*, 12(1):96-109. DOI : <https://doi.org/10.2166/hydro.2010.001>
- Handayani, T., Supriyadi, A.A. and Supriyatno, M. (2019). Utilization of remote sensing technology and geographic information systems to analyze the unification of Nusakambangan Island with Java Island and its impact to security Of Nusakambangan Prison. *Teknologi Penginderaan*, 1(2): 205-228
- Hariati, F.; Ajiwibowo, H.; Hadihardaja, I.K.; Nugroho, J. (2019) - Modeling adaptation to salinity intrusion in Segara Anakan Estuary due to sea level rise. *International Journal GEOMATE*, 16(53):9-17. Available online at: <https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/9-17-05655-Harman-Jan-2019-53.pdf>
- Hilmi, E. (2018). Mangrove landscaping using the modulus of elasticity and rupture properties to reduce coastal disaster risk. *Ocean & Coastal Management*, 165,,71-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.08.002>
- Holtermann, P.; Burchard, H.; Jennerjahn, T. (2009) - Hydrodynamics of the Segara Anakan Lagoon. *Regional Environmental Change*, 9(4):245-58. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-008-0075-3>
- Hoyt, J.; Henry, JRJ (1967) - Influence of island migration on barrier-island sedimentation. *Geological Society of America Bulletin*, 78(1):77-86. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1967\)78\[77:IOIMOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1967)78[77:IOIMOB]2.0.CO;2)
- Iglesias, I.; Avilez-Valente, P.; Bio, A.; Bastos, L. (2019) - Modelling the main hydrodynamic patterns in shallow water estuaries: The Minho case study. *Water*, 11(1040):23. DOI : <https://doi.org/10.3390/w11051040>
- Jennerjahn, T.; Holtermann, P.; Pohlenga, I.; Nasir, B. (2007) - Environmental Conditions in the Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Synopsis of Ecological and Socio-Economic Aspects of Tropical Coastal Ecosystem with Special Reference to Segara Anakan*, p.28. Research Institute Jenderal Soedirman University, Purwokerto. Unpublished
- Kennish, M.J. (2002) - Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29(1):78-107. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892902000061>
- Kjerfve, B. (1994) - Chapter 1: Coastal Lagoons in *Elsevier Oceanography Series*, 60,1-8, ISSN 0422-9894, ISBN 9780444882585. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70006-0](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70006-0).
- Klemas, V.V.; Knecht, R.W.; Cicin-Sain, B.; Yan, X.H.; Field, RT; Price, KS; Badley, M., Wong, K.C.; Zheng, Q. (2000) - Improving the management of coastal ecosystems through management analysis and remote sensing/GIS applications: Experiences from the Delaware region. Final report. Delaware Seagrass Program, University of Delaware, Newark.
- Kusuma, M. S. B.; Mohammad, F.; Habibi, S. A.; Yasin, D. M.; Johan, E. (2020). The influence of the new LRT pier to the sedimentation pattern



- around Ampera bridge in Musi river, South Sumatera, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 18 (69), 159–167. Available online at: <https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/159-167-13240-Kusuma-May-2020-69.pdf>
- Lugra, I.W.; Setiady D. (2018) - New Land Accretion From 2000-2003 At Segara Anakan Lagoon, South Coast of West and Central Java. *Bulletin of the Marine Geology*, 27(2):99. DOI : <http://dx.doi.org/10.32693/bomg.27.2.2012.49>
- Lukas, M.C. (2017) - Widening the scope : linking coastal sedimentation with watershed dynamics in Java, Indonesia. *Regional Environmental Change*, 17(3):901-914. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1058-4>
- Manez, K.S. (2010) - Java's forgotten pearls: The history and disappearance of pearl fishing in the Segara Anakan lagoon, South Java, Indonesia. *Journal of Historical Geography*, 36(4):367–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2010.03.004>
- Meigh, J.D.; Bartlett, J.M. (2010) - Integrated river basin management in Southeast Asia. *Journal Flood Risk Management*, 3(3):201–9. Available online at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1753-318X.2010.01071.x>
- Mohanty, P.; Panda, B. (2009) - Circulation and mixing processes in Chilika Lagoon, *Indian Journal of Marine Sciences*, 38(2):205–214. Available online at: [https://www.researchgate.net/publication/263587565\\_Circulation\\_and\\_mixing\\_processes\\_in\\_Chilika\\_lagoon](https://www.researchgate.net/publication/263587565_Circulation_and_mixing_processes_in_Chilika_lagoon)
- Nandi.(2018) - Morphodynamics of coastal lagoons: An analysis of multitemporal landsat images of Segara Anakan lagoon area. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 26(1):409–26. Available online at: [https://www.researchgate.net/publication/322920449\\_Morphodynamics\\_of\\_coastal\\_lagoons\\_An\\_analysis\\_of\\_multitemporal\\_landsat\\_images\\_of\\_segara\\_Anakan\\_lagoon\\_area](https://www.researchgate.net/publication/322920449_Morphodynamics_of_coastal_lagoons_An_analysis_of_multitemporal_landsat_images_of_segara_Anakan_lagoon_area)
- Olsen, C.R.; Larsen, I.L.; Mulholland, P.J.; Von Damm, K.L.; Grebmeier, J.M.; Schaffner, L.C.; Diaz, R.J.; Maynard M. Nichols, MM (1993) - The Concept of an equilibrium surface applied to particle sources and contaminant distributions in estuarine sediments. *Estuaries*, 6(3):683–96. DOI: <https://doi.org/10.2307/1352805>
- Parwati, E.; Trisakti, B.; Carolita, I.; Kartika, T. (2010) - Analisis hubungan penutup / penggunaan lahan dengan Total Suspended Matter (TSM) Kawasan Perairan Segara Anakan. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 3(1):87–97. Available on-line at : [http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal\\_inderaja/article/view/502](http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_inderaja/article/view/502)
- Phillips, J.D. (1991) - Fluvial sediment delivery to a coastal plain estuary in the Atlantic Drainage of the United States. *Marine Geology*, 98:121–34. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90040-B](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90040-B)
- Rogan, J.; Chen, D. (2004) - Remote sensing for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning*, 61(4):301-325. Available online at: [https://www.researchgate.net/publication/254205127\\_Remote\\_sensing\\_technology\\_for\\_mapping\\_and\\_monitoring\\_land-cover\\_and\\_land-use\\_change](https://www.researchgate.net/publication/254205127_Remote_sensing_technology_for_mapping_and_monitoring_land-cover_and_land-use_change)
- Salim, H.T.; Kusuma, SB; Nazili, N. (2006) - Mathematical model of spit growth in Serayu Estuary, Central Java, Indonesia. Paper presented at The Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, San Francisco, California, USA.
- Sari, L.K.; Adrianto, L.; Soewardi, K.; Atmadipoera, A.S.; Hilmi, E. (2016) - Sedimentation in lagoon waters (Case study on Segara Anakan Lagoon). In *AIP Conference Proceedings*, 1730(1):080002. AIP Publishing LLC DOI : <https://doi.org/10.1063/1.4947417>
- Setyawan, W.B. (2010) - Konservasi bagi Estuari Segara Anakan. *Prosiding Biodiversitas dan Bioteknologi Sumberdaya Akuatik (Juni 2010):733-741*. ISBN: 978-979-16109-3-3 Available online at: [https://www.researchgate.net/publication/289433548\\_KONSERVASI\\_BAGI\\_ESTUARI\\_SEGARA\\_ANAKAN](https://www.researchgate.net/publication/289433548_KONSERVASI_BAGI_ESTUARI_SEGARA_ANAKAN)
- Stanbury, K.; Starr, R. (1999) Applications of Geographic Information Systems (GIS) to habitat assessment and marine resource management. *Oceanologica Acta*, 22(6):699–703. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(00\)88960-4](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(00)88960-4)
- US Army Map Service. Java & Madura A.M.S. Topographic Maps (2017) [http://legacy.lib.utexas.edu/maps/ams/java\\_and\\_madura/](http://legacy.lib.utexas.edu/maps/ams/java_and_madura/)
- Wang, Y.; Dong, P.; Oguchi, T.; Chen, S.; Shen H. (2013) - Long-term (1842–2006) morphological change and equilibrium state of the Changjiang (Yangtze) Estuary, China. *Continental Shelf Research*, 56:1–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.02.006>
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook no. 537 Retrieved from <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>. Accessed 5 Jan 2021
- Yustika, R.D., Somura, H., Yuwono, S.B., Arifin, B., Ismono, H. and Masunaga, T., 2019. Assessment of soil erosion in social forest-dominated watersheds in Lampung, Indonesia. *Environmental monitoring and assessment*, 191(12), pp.1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7890-5>
- Yuwono, E.; Jennerjahn, T.C.; Nordhaus, I.; Riyanto, E.A.; Husein, M. (2007) - Ecological Status of Segara Anakan, Indonesia : A mangrove-fringed lagoon affected by human activities. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution Environment*, 4(1):61–70. Available online at: [https://www.researchgate.net/publication/285838536\\_Ecological\\_status\\_of\\_Segara\\_Anakan\\_Indonesia\\_A\\_mangrove-fringed\\_lagoon\\_affected\\_by\\_human\\_activities](https://www.researchgate.net/publication/285838536_Ecological_status_of_Segara_Anakan_Indonesia_A_mangrove-fringed_lagoon_affected_by_human_activities)
- Zeinali, S.; Dehghani, M.; Talebbeydokhti N. (2021) - Artificial neural network to predict shoreline changes in Narrabeen, Australia. *Applied Ocean Research*, 107(Feb):10–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102362>



## SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E MEDIDAS DE DESEMPENHO NO SETOR PORTUÁRIO: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Daiana Pedersini<sup>@ 1</sup>, Kássia Rodrigues<sup>1</sup>, Sergio Petri<sup>1</sup>, Sandra Ensslin<sup>1</sup>

**RESUMO:** A gestão é uma atividade cada vez mais demandada no setor portuário, sendo norteada pelas informações providas pelas medidas (indicadores) dos Sistemas de Avaliação de Desempenho (SADs). Nesse contexto, esta pesquisa tem por objetivo averiguar os estudos que fizeram uso de Sistemas de Avaliação de Desempenho e as características de suas medidas no setor portuário. Para tanto, foi feita uma análise bibliométrica com base em 33 artigos publicados na língua inglesa e selecionados nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* por meio do *ProKnow-C*. Constatou-se que (i) o tema vem merecendo atenção de pesquisadores, a partir de 2004, com foco na eficiência portuária que encontra alinhamento com os métodos *Data Envelopment Analysis (DEA)* e *Stochastic Frontier Analysis (SFA)* mais utilizados nos estudos; (ii) 50% dos estudos de Avaliação de Desempenho Portuário ocorreram em portos asiáticos, podendo ser justificados pela significativa participação desses portos no comércio exterior e pela insuficiência de ferrovias e rodovias para a movimentação de cargas nesse continente; (iii) 67% dos estudos fazem uso de instrumentos que agregam medidas/indicadores, possibilitando a compreensão global do desempenho, entretanto utilizam modelos de avaliação genéricos sem a participação das partes interessadas em sua concepção o que confirmou a inexistência de alinhamento dos indicadores usados com a estratégia organizacional podendo, assim, reduzir a utilidade dos modelos por alguns dos *stakeholders* considerarem o diagnóstico resultante pouco útil para gestão do contexto; e (iv) apenas 12% dos estudos fazem uso de instrumentos de avaliação de desempenho com o objetivo de subsidiar a atividade de gestão portuária. Como palavra final, os pesquisadores argumentam que o uso de modelos de avaliação personalizados, com base na participação de gestor(es), apresenta-se como um diferencial para a gestão portuária capaz de proporcionar sustentabilidade ao desempenho e à organização portuária.

**Palavras-chave:** Desempenho Portuário; Modelos de Avaliação; Indicadores; Análise Bibliométrica.

**ABSTRACT:** Management is an increasingly demanded activity in the port sector, guided by the information provided by the measures (indicators) of the Performance Evaluation Systems (PESs). In this context, this research aims to investigate the studies that made use of Performance Evaluation Systems and the characteristics of their measures in the port sector. To this end, a bibliometric analysis was performed based on 33 articles published in english and selected from the *Scopus* and *Web of Science* databases using *ProKnow-C*. It was found that (i) the topic has been attracting attention from researchers since 2004, with a focus on port efficiency, which is aligned with the *Data Envelopment Analysis (DEA)* and *Stochastic Frontier Analysis (SFA)* methods most used in studies; (ii) 50% of the Port Performance Evaluation studies took place in Asian ports, which can be justified by the significant participation of these ports in foreign trade and the lack of railroads and highways for cargo handling in that continent; (iii) 67% of the studies make use of instruments that add measures/indicators, enabling a global understanding of performance, however they use generic evaluation models without the participation of interested parties in their design, which confirmed the lack of alignment of the indicators used with the organizational strategy may, therefore, reduce the usefulness of the models because some of the stakeholders consider the resulting diagnosis not very useful for managing the context; and (iv) only 12% of the studies make use of performance evaluation instruments with the objective of subsidizing the port management activity. As a final word, the researchers argue that the use of personalized evaluation models, based on the participation of the manager(s), presents itself as a differential for port management capable of providing sustainability to port performance and organization.

**Keywords:** Performance Evaluation; Performance Measures; Performance Indicators; Bibliometric Analysis.

---

@ Corresponding author: [daianapedersini@hotmail.com](mailto:daianapedersini@hotmail.com)

1 Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

## 1. ASPECTOS E FUNDAMENTOS INTRODUTÓRIOS

O setor portuário desempenha um papel significativo no desenvolvimento mundial, tendo em vista que atua como elo entre os diferentes modais de transporte no processo de importação e exportação de mercadorias (Jang *et al.*, 2016; Tetteh *et al.*, 2016), cujo nível de eficiência portuária afeta, em grande parte, a competitividade e o desenvolvimento econômico contemporâneo de um país (Barros *et al.*, 2012; Wanke *et al.*, 2011; Wu & Go, 2010). Além disso, o crescimento do transporte marítimo foi intensificado nos últimos anos devido à sua representatividade para a cadeia de suprimentos global e para o sistema econômico (Oh *et al.*, 2018), em que grande parte dos produtos comercializados são transportados por vias marítimas (Chang & Tovar, 2014), destacando-se também o aumento da quantidade de terminais de contêineres pelo mundo (Schøyen & Odeck, 2013).

Os impactos, causados pela recessão de 2008, fizeram com que os portos procurassem meios de se recuperar, à medida que a busca pela competitividade se modificou para atrair novas formas de negócios e investimentos (Hales *et al.*, 2016), intensificando o interesse por estudos nessa área e contribuindo para o amadurecimento das discussões nesse setor (Ju & Liu, 2015). Considerando a fase atual de globalização e competitividade na qual os portos estão inseridos, aumenta também a relevância da gestão portuária, auxiliada por planejamento estratégico e utilização de indicadores de desempenho (Munisamy & Singh, 2011). As autoridades portuárias são cada vez mais vistas como organizações comerciais que competem pela movimentação de cargas e por investimentos públicos e privados (De Langen & Heij, 2014).

Mudanças estruturais no setor, baseadas em fatores como fusões, aquisições, crescimento orgânico e alianças entre as empresas, fazem com que a concorrência entre portos permaneça evoluindo (Bang *et al.*, 2012). Pesquisas feitas nesse setor têm se dedicado a estudar a eficiência dos portos por meio da Avaliação de Desempenho a fim de identificar as causas de ineficiências e a baixa produtividade e de identificar soluções para aperfeiçoar as fraquezas encontradas (De Langen & Sharypova, 2013; Lopez-Bermudez *et al.*, 2019; Pagano *et al.*, 2013; Schøyen & Odeck, 2015).

Segundo Nguyen *et al.* (2016), avaliar o desempenho portuário permite identificar condições que possam comprometer a competitividade. Verifica-se, portanto, que a utilização da Avaliação de Desempenho tem o potencial de promover o

desempenho e a competitividade dos portos quanto ao seu papel de prestadores de serviços de transporte (Schøyen & Odeck, 2015). Conforme Park e De (2004), quando existe o interesse em melhorar o desempenho de um terminal portuário, os gestores devem dedicar seus esforços para avaliar constantemente as operações e os processos ligados aos seus usuários, sejam eles relacionados a fornecimento, a marketing ou à venda de serviços.

Nesse contexto, a Avaliação de Desempenho Portuário apresenta-se como um tema emergente no contexto de gestão por meio de Sistemas de Avaliação de Desempenho (SADs) que são usados para subsidiar a tomada de decisão. Os SADs são formados por métricas (medidas/indicadores) de desempenho que desmembram e evidenciam os aspectos/objetivos que a organização pretende alcançar nas diversas dimensões que respondem pelo desempenho organizacional (Ensslin *et al.*, 2010).

Para Hung *et al.* (2010), a utilização de indicadores de desempenho tem seu uso frequente nesse contexto e auxiliam o incentivo ao progresso dos terminais portuários, em que a otimização dos custos é considerada uma prática comum nos setores logísticos (Panayides *et al.*, 2011). A avaliação de desempenho portuária também fornece aos gestores o perfil atual de desempenho que, quando apresentado com clareza e solidez, permite a elaboração de políticas e estratégias a longo prazo mais consistentes (Wu *et al.*, 2010).

Nesse cenário, o papel essencial é desempenhado pela concorrência que impulsiona as organizações a procurar a inovação de seus produtos e serviços e atender às necessidades dos consumidores (Ignasiak-Szulc *et al.*, 2018). Ao mesmo tempo, ocorre intensa movimentação de cargas, resultando na preocupação em melhorar os serviços prestados, procurando a captação de novos clientes e investidores (Pinto *et al.*, 2017). Num terminal portuário existem diversos processos e subprocessos ligados à movimentação de cargas que devem ter seus desempenhos locais estimados e comparados com o desempenho geral do sistema, a fim de verificar a existência de desempenho desproporcional (Bichou, 2011). Concomitantemente, os portos fazem parte de um ambiente complexo, em que há vários *stakeholders* com interesses conflitantes e com intensidades de relacionamentos diferentes a serem considerados, tornando o processo de tomada de decisão ainda mais difícil (Bergantino *et al.*, 2013; Guener, 2018; Ha *et al.*, 2018).

Nesse sentido, é importante conhecer a percepção dos *stakeholders* no processo de identificação de indicadores de

desempenho (Cheng & Wang, 2016; Rezaei *et al.*, 2019), e que estes estejam alinhados com a estratégia organizacional para a obtenção dos objetivos estratégicos (Hamid, 2018a; Hamid, 2018b). Segundo Ramachandran *et al.* (2017), considerar os objetivos da organização no desenvolvimento do SAD possibilita visualizar melhor as oportunidades de crescimento futuro. Ademais, é preciso que exista uma conexão entre toda a cadeia de suprimentos envolvida, fortalecendo a competitividade e o desempenho de toda essa cadeia (Ha *et al.*, 2018).

Assim, este estudo é norteado pela definição de Sistema de Avaliação de Desempenho que contempla tanto o conceito de mensuração, quanto o de gestão do desempenho (Ensslin *et al.*, 2022; Ensslin *et al.*, 2010; Lebas, 1995; Melnyk *et al.*, 2014; Valmorbidia & Ensslin, 2016). De acordo com Neely *et al.* (1995), os indicadores, base da mensuração dos SADs, devem representar a organização de forma intrínseca e serem agrupados, pois, de forma isolada, não são capazes de definir o que é necessário medir. Além disso, Otley (2001) menciona que os indicadores de desempenho utilizados não se devem limitar a medidas financeiras, incorporando o número de variáveis necessárias para o alcance da estratégia organizacional.

Diante do exposto, considerando a centralidade dos indicadores do SAD para apoiar a tomada de decisão, surge a questão que norteia esta pesquisa: Os estudos sobre Avaliação de Desempenho Portuário têm considerado as especificidades do ambiente em que operam e seus objetivos organizacionais? Para poder responder a esse questionamento, o objetivo deste trabalho consiste em averiguar os estudos que fizeram uso de Sistemas de Avaliação de Desempenho e as características de suas medidas no setor portuário. Para que esse objetivo seja alcançado, utiliza-se o instrumento de intervenção *Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C)* com a operacionalização das etapas de Seleção do Portfólio Bibliográfico (PB) e da Análise Bibliométrica (Araújo *et al.*, 2020; Thiel *et al.*, 2017). Como principais delimitações da Seleção do PB, fez-se a busca em duas bases de dados (*Scopus* e *Web of Science*), selecionaram-se apenas artigos publicados na língua inglesa e excluíram-se os artigos teóricos.

O crescimento do número de trabalhos publicados, relacionados ao setor portuário nos últimos anos (Barros *et al.*, 2012; Chang & Tovar, 2014; Schøyen & Odeck, 2015; Ramachandran *et al.*, 2017; Rezaei *et al.*, 2019), despertou o interesse de pesquisadores em investigar os caminhos seguidos pela literatura do setor. Os estudos de Dutra *et al.* (2015), de Somensi *et al.* (2017) e de Ensslin *et al.* (2018),

evidenciaram que o foco das investigações, nesse setor, é no aspecto operacional e com o uso de abordagens que dificultam o acompanhamento das mudanças ocorridas no ambiente portuário. Neste estudo, ampliou-se o horizonte da pesquisa, fornecendo contribuições sob a perspectiva construtivista para a avaliação de desempenho, nesse setor, com a análise de diferentes variáveis.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 2.1 Procedimento para coleta de dados

Este trabalho utiliza uma abordagem qualitativa, com o objetivo de analisar um fragmento da literatura relacionado à 'avaliação de desempenho no setor portuário'. Para tanto, os autores fazem uso do processo estruturado do instrumento *Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C)*, que orienta a seleção, instiga a reflexão e a análise crítica da literatura relevante sobre o tema analisado (Matos *et al.*, 2019; Pedersini & Ensslin, 2020). Atualmente, o *ProKnow-C* é operacionalizado por meio de cinco etapas: (i) Seleção de um Portfólio Bibliográfico (PB); (ii) Análise Bibliométrica; (iii) Construção do Mapa da Literatura; (iv) Análise Sistêmica; e (v) Formulação de Pergunta de Pesquisa e Oportunidades, resultantes do conhecimento construído durante o processo (Welter & Ensslin, 2022). Seguindo as atividades propostas pelo instrumento, foram selecionados 33 artigos na etapa 1: Seleção de um Portfólio Bibliográfico (PB), como evidenciado pela Figura 1. Esses trabalhos estão listados na seção de Referências e numerados de 1 a 33 entre colchetes [ ].

Após concluir a etapa de Seleção do Portfólio Bibliográfico (PB), realizou-se a etapa 2: Análise Bibliométrica. Destaca-se que, para os casos em que ocorreu dúvidas quanto à seleção ou análise das variáveis dos artigos, houve a discussão para certificar-se de que a classificação estava adequada.

### 2.2 Procedimentos para análise dos dados

De acordo com Thiel *et al.* (2017), por meio da Análise Bibliométrica, procura-se aprimorar o conhecimento existente sobre um determinado contexto. Assim, nessa análise, ocorre a seleção das características que serão analisadas no PB selecionado. Nesse sentido, dois tipos de variáveis e respectiva análise são utilizados: (i) Bibliometria Básica; e (ii) Bibliometria Avançada.

Na Bibliometria Básica, as variáveis investigadas nesta pesquisa são: (i) ano de publicação dos trabalhos; (ii) ferramenta e método utilizados pelos estudos; e (iii) região geográfica onde

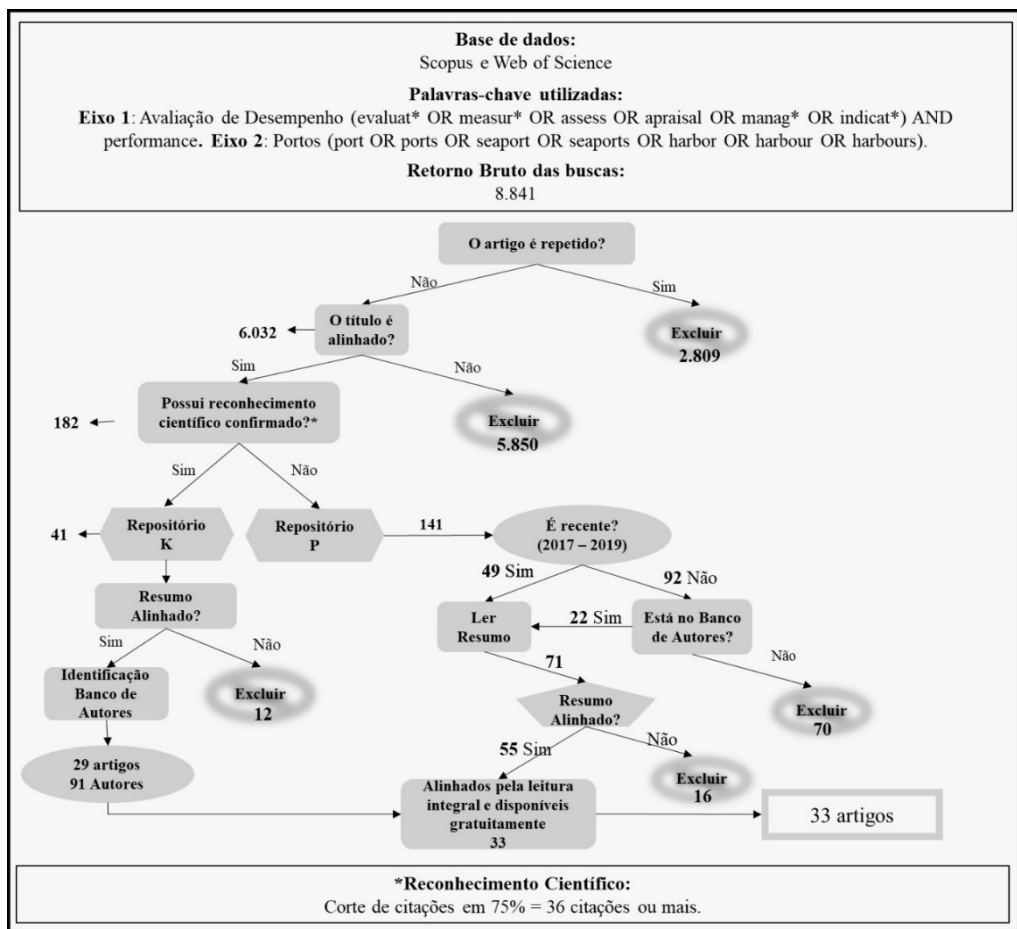


Figura 1. Processo para Seleção do Portfólio Bibliográfico, com base no ProKnow-C.

se localizam os portos investigados, sendo que o tratamento dessas variáveis foi por meio da contagem de ocorrências. Já no que se refere à Bibliometria Avançada, procura-se verificar, nesses estudos, os aspectos que possam enriquecer a discussão sobre o tema. Nesse sentido, as variáveis avançadas analisadas, bem como sua forma de tratamento, são apresentadas na Tabela 1. Cabe mencionar que os resultados serão apresentados, seguindo a numeração de cada variável.

Vale salientar que o ProKnow-C é norteado por uma abordagem construtivista e de forma qualitativa, e a interpretação do alinhamento, ou não, dos artigos selecionados e da presença das variáveis avançadas é feita pelos autores da pesquisa, cujo entendimento é evidenciado no PB selecionado e nos resultados expostos (Ensslin *et al.*, 2021).

Pela análise das variáveis apresentadas, é possível ampliar o conhecimento a respeito de que tipo de SAD os estudos

estão fazendo uso para avaliar o desempenho do contexto portuário frente a aportes teóricos a fim de, com base nas lacunas identificadas, apontar caminhos que possam auxiliar na promoção e gestão do desempenho portuário.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Análise Bibliométrica Básica

A Análise Bibliométrica Básica tem como objetivo apresentar os agentes de destaque do fragmento representativo do tema em questão (Thiel *et al.*, 2017). Para esta pesquisa, a realização da Análise Bibliométrica Básica averigua três variáveis - (i) ano de publicação dos trabalhos; (ii) ferramenta ou método de avaliação utilizado no estudo; e (iii) região geográfica de aplicação do estudo - cujos resultados estão sintetizados na Figura 3.

Na Figura 2, observa-se que os estudos em avaliação de desempenho no setor portuário são relativamente recentes, visto que o primeiro trabalho, contido no PB, foi publicado em 2004. Após um intervalo entre as publicações, em 2010 foi retomado o foco dos estudos relativos ao tema. Observe-se que não houve um ano em que ocorreu um número de publicações acentuado em relação aos demais.

Vale salientar que o tema pesquisado se apresenta como relativamente novo e a eficiência portuária é uma preocupação latente dos gestores. Além disso, o enfraquecimento da demanda, resultado da recessão global de 2008, levou esse setor a repensar como criar diferenciais competitivos de modo a atrair novos negócios e investidores (Hales *et al.*, 2016), o que intensificou o interesse de pesquisas nessa área.

Tabela 1. Análises Avançadas realizadas e forma de tratamento.

Nº	Variável	Forma de análise	Aportes Teóricos
1	Organização das medidas de desempenho	Individuais (isoladas); agrupadas	Neely; Gregory; Platts (1995) e Otley (2001)
2	Há relação entre o Sistema de AD e o meio ambiente?	Sim; Não	
3	Há alinhamento dos indicadores com a estratégia?	Sim; Não	
4	Finalidade do modelo/instrumento	Mensuração; Diagnóstico; Comparação; Gestão	
5	Interação com o ambiente	Interno; Externo; Ambos	
6	Dimensões contempladas no modelo/instrumento	Financeiras; Múltiplas	
7	Há relação entre objetivos/aspectos e estratégia?	Sim; Não	
8	Há a participação dos stakeholders?	Sim, considera algum stakeholder; Não, utiliza métricas genéricas; Não é possível identificar a presença de stakeholders.	

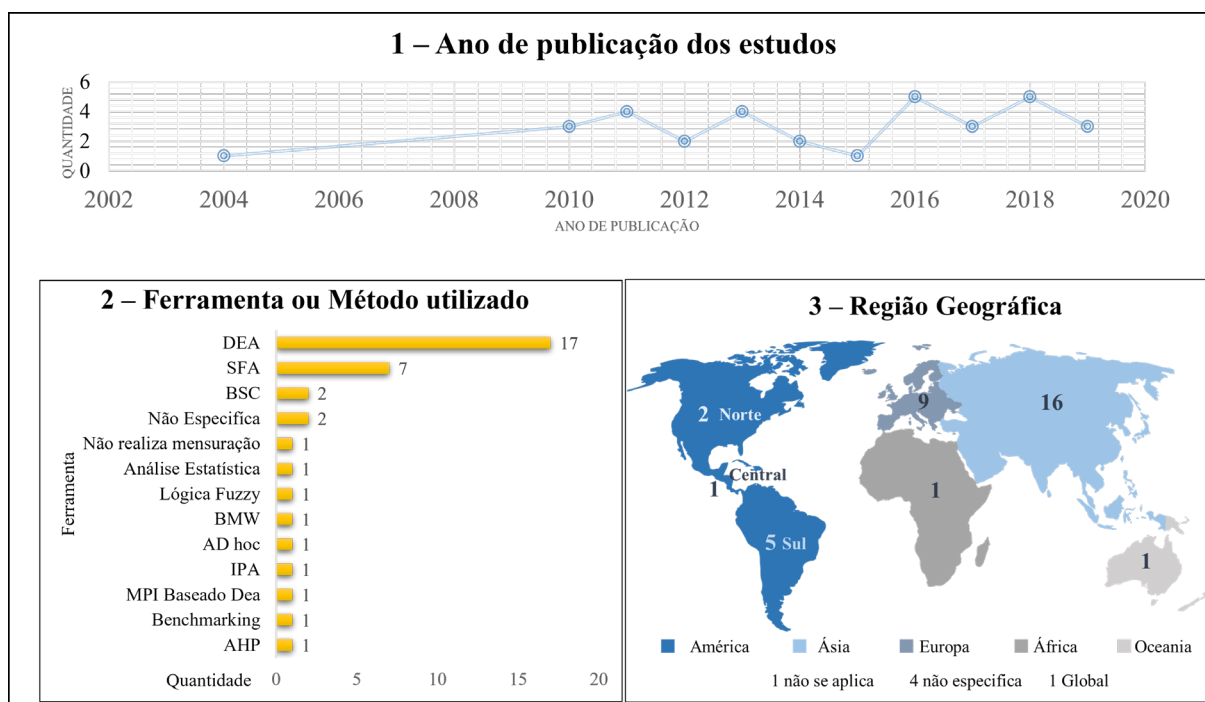


Figura 2. Diagnóstico do PB frente às variáveis definidas para Análise Bibliométrica Básica.

A segunda Análise Bibliométrica refere-se à ferramenta ou ao método de avaliação utilizado nos artigos. Ressalta-se que alguns trabalhos utilizaram mais de uma ferramenta/método para o desenvolvimento da pesquisa. Nesses casos, a contagem do estudo ocorreu mais de uma vez. A ferramenta que possui utilização mais representativa é *Data Envelopment Analysis (DEA)* que teve aplicação em 17 artigos (Bang *et al.*, 2012; Barros *et al.*, 2012; Bergantino *et al.*, 2013; Bichou, 2011; Güner, 2018; Hung *et al.*, 2010; Jang *et al.*, 2016; Ju & Liu, 2015; Munisamy & Singh, 2011; Nguyen *et al.*, 2016; Panayides *et al.*, 2011; Park & De, 2004; Schoyen & Odeck, 2013; Tetteh *et al.*, 2016; Wanke *et al.*, 2011; Wu & Goh, 2010; Wu *et al.*, 2010).

Em segundo lugar, *Stochastic Frontier Analysis (SFA)* foi a ferramenta que teve sua aplicação em sete trabalhos (Bergantino *et al.*, 2013; Chang & Tovar, 2014; Lopez-Bermudez *et al.*, 2019; Nguyen *et al.*, 2016; Pagano *et al.*, 2013; Panayides *et al.*, 2011; Wanke *et al.*, 2011) que, em algumas vezes, era combinada com o próprio *DEA*. Segundo Bichou (2011), a utilização dessas duas técnicas deve-se ao fato de que ambas pretendem construir uma fronteira de eficiência baseando-se em um conjunto de melhores soluções possíveis. Para tanto, o *DEA* utiliza programação linear para determinar a eficiência, enquanto o *SFA* se baseia em uma especificação estocástica de uma função de distância. Com isso, destaca-se uma tendência nessa área do conhecimento que é replicar o uso de ferramentas que já são utilizadas. Além disso, a literatura aponta algumas vantagens e desvantagens quando da utilização do *DEA*.

Como vantagem, Jang *et al.* (2016), apontam que o *DEA* não exige que os pesos referentes a entradas e saídas sejam inicialmente conhecidos e é eficiente na Avaliação de Desempenho quando existe um conjunto de medidas de desempenho. No entanto, Tetteh *et al.* (2016), afirmam que essa ferramenta não oferece informações acerca de significância estatística ou intervalos de confiança, além de não permitir a mensuração de equívocos.

Por fim, a Figura 2 apresenta a análise referente à região geográfica de aplicação do estudo. Foi constatado que 16 trabalhos do PB são estudos de Avaliação de Desempenho Portuário em portos asiáticos (heng & Wang, 2016; Guner, 2018; Ha *et al.*, 2019; Hales *et al.*, 2016; Hamid, 2018a; Hamid, 2018b; Hung *et al.*, 2010; Jang *et al.*, 2016; Ju & Liu, 2015; Munisamy & Singh, 2016; Nguyen *et al.*, 2016; Oh *et al.*, 2018; Park & De, 2004; Ramachandran *et al.*, 2017; Tetteh *et al.*, 2016; Wu & Goh, 2010). Tal representatividade decorre de algumas características do continente, que não

conta com ferrovias e rodovias suficientes e, por isso, concentra a movimentação de cargas por transporte marítimo, o que automaticamente contribui para o desenvolvimento de várias regiões do continente.

Além disso, a Ásia é o 'lar' dos maiores portos do mundo e, considerando sua participação no comércio exterior, tanto para importação, quanto para exportação, justifica-se a concentração de estudos sobre eficiência portuária num setor tão competitivo. Há também o crescimento exponencial do comércio chinês nos últimos anos, e o desenvolvimento da indústria naval e da construção civil nos países desse continente que contribuem para a grande representatividade dos portos, e consequentemente há um maior interesse de pesquisas para compreender o comportamento dos maiores portos do mundo.

A Europa também é objeto de estudo de alguns pesquisadores, cujo maior porto é o de Rotterdam, na Holanda, que, até 2002, foi o porto mais ativo do mundo, mas que posteriormente foi ultrapassado pelos portos asiáticos.

### 3.2 Análise Bibliométrica Avançada

A Análise Bibliométrica Avançada foi feita segundo aportes teóricos da Avaliação de Desempenho propostos por Neely *et al.* (1995) e por Otley (2001), autores reconhecidos e com trabalhos difundidos nessa área. Para isso, verificou-se se os artigos selecionados apresentavam uma ferramenta, ou um método, ou uma abordagem ou um Sistema de Avaliação de Desempenho (SAD). Constatou-se que os 33 estudos do PB atendiam a essa delimitação e, por isso, estavam aptos para análise. Cabe mencionar que o estudo de Pinto *et al.* (2017), embora não possua aplicação prática, foi considerado para essa análise tendo em vista que os autores propõem uma metodologia para mensurar a eficiência portuária. A Figura 3 sintetiza os resultados da Análise Bibliométrica Avançada.

A variável '1 - Organização das medidas de desempenho' consiste em verificar a forma de apresentação das medidas/métricas/indicadores utilizados no instrumento de Avaliação de Desempenho, se de forma individual ou se agrupadas. Dentre os trabalhos analisados, 22 apresentam a possibilidade de agregação das medidas individuais, representando alinhamento com o conceito de Neely *et al.* (1995) de que um SAD deve ser constituído de indicadores de desempenho individuais que são agrupados, possibilitando a identificação global do desempenho. De acordo com os autores, as medidas devem ser inseridas em um contexto estratégico, tendo em vista que influenciam as ações dos usuários. Hamid (2018a)



complementa que o agrupamento das medidas deve ocorrer por meio de objetivos, de curto e de longo prazos, que compreendem os processos da organização e que possam estimular a melhoria. Nesse quesito, os estudos que utilizam ferramentas que integram os indicadores, como o próprio *DEA*, ou utilizam o *Key Performance Indicators (KPIs)* (Bichou, 2011), se destacaram. Por meio desses resultados, percebe-se que existe uma preocupação no agrupamento das medidas de desempenho.

A análise da variável '2 - Existência de relação entre o Sistema de AD e o meio ambiente na qual a organização está inserida' evidenciou que 67% dos trabalhos não consideram, em sua aplicação, uma relação entre o SAD e o meio ambiente. Essa característica do PB ficou evidente ao não se considerarem atores no processo decisório e julgamento dos critérios dos modelos de avaliação. Ou seja, foram aplicações genéricas ou generalizadas de modelos de avaliação que, em sua concepção, não tiveram diretamente a participação das partes interessadas.

Guener (2018), menciona que assumir importância idêntica a todas as variáveis do modelo pode gerar resultados equivocados, tendo em vista que a importância de cada variável

utilizada pode mudar de um porto para outro. Em seu estudo, o autor demonstrou que a opinião de especialistas na definição dos pesos tem impacto nas pontuações de eficiência dos portos e levam a reduções elevadas na eficiência.

Segundo Neely *et al.* (1995), os SADs têm como uma de suas funções reforçar a estratégia da organização a fim de destacar quais elementos têm influência em aprendizagem organizacional, comportamento dos colaboradores, motivação e monitoramento dos indicadores. Para a avaliar a eficácia de um SAD, ele deve estar vinculado à estratégia e aos objetivos da organização em questão (Otley, 2001).

A análise da variável '3 - Existência de alinhamento dos indicadores com a estratégia organizacional' evidenciou que, em 29 dos trabalhos analisados, foi constatado um desalinhamento entre indicadores e estratégias. Esse diagnóstico era esperado, uma vez que, como citado na variável '2', as avaliações de desempenho foram feitas com o uso de instrumentos genéricos que não contemplavam as especificidades e particularidades de cada porto.

Embora os estudos, em sua maioria, não apresentem indicadores alinhados com a estratégia organizacional, tem sido discutida pela literatura a importância de se ter esse

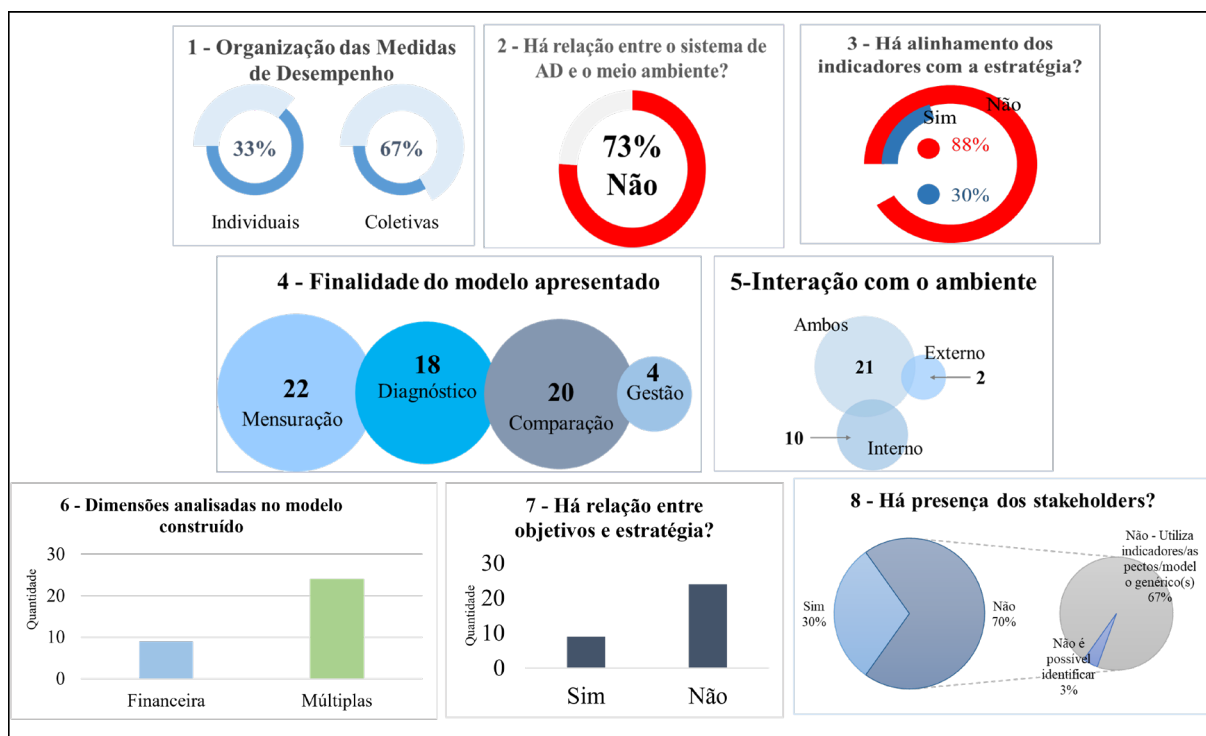


Figura 3. Diagnóstico do PB frente às variáveis definidas para Análise Bibliométrica Avançada.

alinhamento para o crescimento da organização. Segundo Ramachandran *et al.* (2017), isso pode auxiliar a organização na reformulação da estratégia, além de permitir que os indicadores selecionados sejam os mais indicados para a organização. Em concordância, Hamid (2018a), menciona que o alinhamento dos indicadores com a estratégia permite que os gestores tenham seu pensamento estruturado, seus esforços direcionados para melhorar os processos organizacionais e sua capacidade de aprendizado seja intensificada. Isso reforça que o ambiente deve ser levado em consideração na definição dos indicadores, pois a estratégia varia de uma organização para outra e, com isso, os objetivos podem ser distintos. Nesse sentido, as organizações não devem ser avaliadas sob a perspectiva de indicadores genéricos, sem quaisquer alterações em suas escalas de mensuração.

A análise da variável '4 - Finalidade do modelo/instrumento' consiste em verificar qual é o objetivo do modelo/instrumento de avaliação apresentado nos trabalhos. Ou seja, se ele tem como objetivo a Mensuração, o Diagnóstico, a Comparação ou a Gestão. A Figura 3 demonstra o resultado da análise dessa variável, onde se observa que a maioria dos trabalhos tem feito uso de instrumentos/modelos de Avaliação de Desempenho que realizem a Mensuração e o Diagnóstico do desempenho portuário ou a Comparação de desempenho entre Portos, e pouco tem feito o uso com o objetivo de subsidiar a Gestão Portuária, apresentando apenas quatro trabalhos.

Considerando que os portos operam com ciclos comerciais de longo prazo e variabilidade sazonal (Bang *et al.*, 2012), utilizar as informações geradas pelos SADs é pertinente para a tomada de decisão e pode contribuir para que os desafios operacionais e estratégicos sejam gerenciados com qualidade. No entanto, os estudos pouco têm abordado essa questão, deixando de potencializar as contribuições de suas pesquisas para as organizações estudadas.

De acordo com Neely *et al.* (1995), para que um SAD seja holístico, é necessário que esse Sistema tenha interações com os ambientes interno e externo da organização, de modo que compreenda tanto a estratégia da organização, quanto os efeitos da relação com o mercado e a influência externa à organização. Então, com a análise da variável '5 - Interação com o ambiente', foi evidenciado que 21 artigos estão alinhados com o aporte teórico adotado, pois apresentam interação com os ambientes interno e externo.

As variáveis externas referem-se aos fatores que estão além do controle gerencial (Bergantino *et al.*, 2013). No PB, percebe-se

que os estudos têm considerado essas variáveis na avaliação de desempenho do contexto portuário. Foi percebido maior número de variáveis que exploram questões sociais e ambientais (Bang *et al.*, 2012; Barros *et al.*, 2012; Bergantino *et al.*, 2013; Chang & Tovar, 2014; de Langen & Heij, 2014; Ha *et al.*, 2019; Hales, Lam & Chang, 2016; Hamid, 2018a; Hamid, 2018b; Hung *et al.*, 2010; Ignasiak-Szulc *et al.*, 2018; Munisamy & Singh, 2010; Oh *et al.*, 2018; Panayides *et al.*, 2011; Park & De, 2004; Pinto *et al.*, 2017; Ramachandran *et al.*, 2017; Rezaei *et al.*, 2019; Schoyen & Odeck, 2013; Wanke *et al.* 2011; Wu & Goh, 2010), como, por exemplo, as que estão além da possibilidade de controle gerencial.

A variável '6 - Dimensões contempladas no modelo/instrumento' da Avaliação de Desempenho busca verificar se o instrumento contempla as variáveis que refletem a estratégia e impactam o desempenho portuário com o uso de medidas que as representem não se limitando ao uso de medidas financeiras. Nesse sentido, 24 artigos são consistentes com a definição de Otley (2001) cujos modelos de Avaliação de Desempenho devem ser multidimensionais, e não considerarem apenas medidas financeiras (Figura 3).

No início da prática da atividade de Avaliação de Desempenho, os instrumentos eram compostos por indicadores com medidas financeiras, o que hoje não representa a totalidade dos aspectos que devem ser gerenciados na organização. Nesse sentido, Ignasiak-Szulc *et al.* (2018), mencionam que analisar o desempenho dos portos, unicamente sob aspectos financeiros, não é suficiente, pois a vantagem competitiva dos portos atualmente envolve também a consideração de variáveis relacionada aos clientes e aos *stakeholders* da organização. Os autores também apontam que a maioria dos fatores de sucesso, essenciais para a competitividade, deriva de aspectos comportamentais. Além disso, Hamid (2018b), afirma que o foco em aspectos financeiros leva as empresas a procurarem o lucro apenas no curto prazo, impossibilitando a sustentabilidade das organizações no longo prazo, e ressalta a importância da quantidade de indicadores com as unidades de medida que reflitam o alcance da estratégia do contexto portuário.

A análise da variável '7- Relação entre objetivos/aspectos e a estratégia' revelou a não observância dessa relação, uma vez que, em 24 artigos, não foi identificado esse alinhamento. Isso significa que os modelos apresentados nesses trabalhos não são formados por aspectos/objetivos *ad hoc* do contexto portuário que está sendo avaliado. Assim, não se consideram as

especificidades e particularidades do contexto na elaboração dos indicadores para avaliar o desempenho.

A literatura aborda a importância de as organizações se preocuparem com seu desempenho. No entanto, a maioria dos estudos verificados não tem considerado que cada organização possui suas particularidades, desenvolvendo modelos com base em indicadores utilizados pela literatura anterior, sem considerar que os objetivos estratégicos variam, e o que é adequado para um contexto pode não ser adequado para outro.

Por fim, a análise da variável '8 - Participação dos *stakeholders*' informou que, dos trabalhos, 70% não apresentam as partes interessadas no processo de desenvolvimento dos indicadores do SAD do contexto portuário, isto é, nesses trabalhos as avaliações são feitas utilizando-se indicadores, aspectos e modelos que são generalizados e aplicáveis a diversas organizações.

Os resultados obtidos demonstram que a participação dos *stakeholders* tem sido pouco explorada no desenvolvimento dos modelos/instrumentos de Avaliação de Desempenho, reduzindo a utilidade dos modelos desenvolvidos e, internamente, até mesmo o interesse em sua operacionalização por alguns dos *stakeholders* considerarem os indicadores e, conseqüentemente, o diagnóstico pouco útil para gestão do contexto. O sistema portuário é envolto por diferentes partes com interesses próprios, tornando desafiadora a conciliação das variadas perspectivas (Ha *et al.*, 2018). Com isso, o gerenciamento das partes interessadas de forma eficaz pode corresponder a um diferencial competitivo e dar sustentabilidade para o desenvolvimento futuro.

Com base nos resultados apresentados neste estudo, constata-se a existência de diversos caminhos seguidos pela literatura analisada que geram oportunidades para pesquisas futuras. A utilização de modelos de avaliação personalizados apresenta-se como um diferencial para a gestão portuária, em que as especificidades do contexto sejam reconhecidas e o problema seja solucionado com singularidade. Ainda, a identificação de um decisor (gestor) auxilia a evidenciação dos objetivos e a gestão portuária, de modo que sejam construídos e monitorados os indicadores que realmente representem aspectos importantes na tomada de decisão sob a perspectiva desse gestor.

Com isso, é possível gerar um plano de ação de melhorias efetivas para o desempenho atual da organização que favoreça os pontos fracos e valorize seus pontos fortes. Estudos futuros também podem considerar a utilização de outras ferramentas

(além do *DEA* e *SFA*) que proporcionem mais contribuições para o processo de gestão das organizações e levem em conta a estratégia organizacional, de modo que promovam a aprendizagem organizacional contínua.

## CONCLUSÃO

Os portos são ambientes complexos, um conjunto de diversas variáveis e *stakeholders*, que possuem, muitas vezes, interesses conflitantes e profundidades de relacionamentos diferentes a serem considerados na tomada de decisão. Nesse cenário, a Avaliação de Desempenho apresenta-se como um tema emergente no contexto de gestão portuária. Para tanto, este trabalho teve como objetivo averiguar os estudos que fizeram uso de Sistemas de Avaliação de Desempenho e as características de suas medidas no setor portuário. Para isso, foi utilizado o *Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C)* como instrumento de intervenção, possibilitando a operacionalização das etapas de Seleção do Portfólio Bibliográfico e da Análise Bibliométrica.

Foram então selecionados 33 artigos sobre Avaliação de Desempenho no Setor Portuário, que se valiam da utilização de um método e/ou ferramenta de avaliação. Por meio da Análise Bibliométrica Básica, constatou-se que o foco de pesquisas, nesse tema, é relativamente novo, pois a melhoria da eficiência dos portos é uma preocupação latente nos gestores. Além disso, observou-se o *DEA* como ferramenta mais utilizada pelo setor e considerada eficiente na Avaliação de Desempenho quando existe um conjunto de medidas de desempenho. Ainda, constatou-se que a Ásia é o continente onde os pesquisadores estão devotando esforços em investigação, com 16 aplicações, o que é justificável, visto que o continente não conta com rodovias e ferrovias consideráveis, além de abrigar em seu território os maiores portos do mundo e possuir grande participação no comércio exterior.

Em linhas gerais, a Análise Avançada, com base nos aportes teóricos de Neely *et al.* (1995) e de Otley (2001), evidenciou que (i) as medidas utilizadas nos estudos eram, em sua maioria, agrupadas; (ii) a maior parte dos trabalhos não considera uma relação entre o SAD e o meio ambiente; (iii) em 29 dos artigos não há alinhamento entre a estratégia e os indicadores do modelo; (iv) poucos modelos têm o foco na gestão portuária; (v) a maioria dos modelos apresenta interação com os ambientes interno e externo; (vi) os modelos, em sua maioria, utilizam medidas multidimensionais; (vii) há pouca representatividade

de modelos entre os objetivos e a estratégia; e (viii) 67% dos trabalhos que não consideram os *stakeholders* utilizam indicadores e aspectos genéricos.

Segundo Hung *et al.* (2010), as ineficiências dos portos ocorrem principalmente devido ao gerenciamento ineficiente e, por isso, os gestores devem se dedicar, primeiro, a melhorar suas práticas de gestão para então se concentrar em melhorar a eficiência operacional, o que se apresenta como um antagonismo com relação aos trabalhos analisados nesta pesquisa. Portanto, constata-se que a utilização de modelos de Avaliação de Desempenho que considerem as particularidades dos portos é capaz de garantir que uma gestão seja mais eficiente e eficaz. Isso é uma alternativa que pode ser um diferencial para o setor portuário que se encontra em um mercado em expansão e com altos níveis de competitividade.

Pela análise das variáveis apresentadas, foi possível ampliar o conhecimento a respeito de que tipo de SAD os estudos estão fazendo uso para avaliar o desempenho do contexto portuário frente a aportes teóricos. Assim, os pesquisadores argumentam que o uso de modelos de avaliação personalizados, com base na participação de gestor(es) portuário(s), se apresenta como um diferencial para a gestão portuária capaz de proporcionar sustentabilidade ao desempenho e de alavancar o desempenho da organização portuária.

Nesse sentido, foram apresentadas oportunidades de pesquisa, decorrentes das análises realizadas, e destaca-se que a contribuição deste estudo consiste na identificação de oportunidades de pesquisa, sob uma ótica construtivista para a avaliação de desempenho no setor portuário, com base na análise de variáveis ainda não abordadas em estudos anteriores (Dutra *et al.*, 2015; Somensi *et al.*, 2017; Ensslin *et al.*, 2017), dando destaque para a oportunidade de estudos que considerem a singularidade das organizações; que sejam feitos de forma longitudinal; e que utilizem as informações geradas pelo SAD para a gestão, identificando ações que possam ser tomadas para promover a aprendizagem e melhoria contínuas nas organizações.

Este estudo teve como limitação a operacionalização das etapas (i) Seleção de um Portfólio Bibliográfico (PB), (ii) Análise Bibliométrica e parcial da (v) Formulação de Pergunta de Pesquisa e Oportunidades, resultante do conhecimento construído durante o processo *ProKnow-C*. Argumenta-se que a operacionalização das etapas (iii) Construção do Mapa da Literatura e (iv) Análise Sistêmica, com base no aporte teórico de Ensslin *et al.* (2010), poderia oferecer novos insights para impulsionar a gestão e a competitividade do setor portuário.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Autor 1 e 2, responsáveis pela proposta, coleta e análise dos dados, desenvolvimento da escrita. Os autores 3 e 4, foram responsáveis pela revisão das análises e textual do trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Araújo, S. S.; Matos, L. S.; Ensslin, S. R. (2020). Compras públicas sob a perspectiva da Avaliação de Desempenho: uma revisão de literatura e agenda de pesquisa. *Revista Gestão & Conexões*, v. 9, n. 1, p. 99-127. DOI: 10.13071/regec.2317-5087.2020.9.1.27486.99-127.
- Bang, H. S., Kang, H. W., Martin, J., & Woo, S. H. (2012). The impact of operational and strategic management on liner shipping efficiency: a two-stage *DEA* approach. *Maritime Policy & Management*, 39(7), 653-672. DOI: 10.1080/03088839.2012.740165 [12]
- Barros, C. P., Felício, J. A., & Fernandes, R. L. (2012). Productivity analysis of Brazilian seaports. *Maritime Policy & Management*, 39(5), 503-523. DOI: 10.1080/03088839.2012.705033 [11]
- Bergantino, A. S., Musso, E., & Porcelli, F. (2013). Port management performance and contextual variables: Which relationship? Methodological and empirical issues. *Research in Transportation Business & Management*, 8, 39-49. DOI: 10.1016/j.rtbm.2013.07.002 [10]
- Bichou, K. (2011). A two-stage supply chain *DEA* model for measuring container-terminal efficiency. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 3(1), 6-26. DOI: 10.1504/IJSTL.2011.037817 [1]
- Chang, V., & Tovar, B. (2014). Efficiency and productivity changes for Peruvian and Chilean ports terminals: A parametric distance functions approach. *Transport Policy*, 31, 83-94. DOI: 10.1016/j.tranpol.2013.11.007 [9]
- Cheng, M. C., & Wang, J. J. (2016). An integrative approach in measuring hub-port supply chain performance: Potential contributions of a logistics and transport data exchange platform. *Case Studies on Transport Policy*, 4(2), 150-160. DOI: 10.1016/j.cstp.2016.03.001 [27]
- De Langen, P. W., & Heij, C. (2014). Corporatization and performance: A literature review and an analysis of the performance effects of the corporatization of Port of Rotterdam authority. *Transport Reviews*, 34(3), 396-414. DOI: 10.1080/01441647.2014.905650 [6]
- De Langen, P. W., & Sharypova, K. (2013). Intermodal connectivity as a port performance indicator. *Research in Transportation Business & Management*, 8, 97-102. DOI: 10.1016/j.rtbm.2013.06.003 [28]

- Dutra, A., Ripoll-Feliu, V. M., Fillol, A. G., Ensslin, S. R., & Ensslin, L. (2015). The construction of knowledge from the scientific literature about the theme seaport performance evaluation. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 64(2), 243-269. DOI: 10.1108/IJPPM-01-2014-0015
- Ensslin, L., Dezem, V., Dutra, A., Ensslin, S. R., & Somensi, K. (2018). Seaport-performance tools: an analysis of the international literature. *Maritime Economics & Logistics*, 20(4), 587-602. DOI: 10.1057/s41278-017-0083-7
- Ensslin, L.; Giffhorn, E.; Ensslin, S. R.; Petri, S. M.; & Vianna, W. B. (2010). Avaliação do Desempenho de empresas terceirizadas com o uso da metodologia Multicritério de Apoio à Decisão-Construtivista. *Revista Pesquisa Operacional*, 30(1), 125-152. DOI: 10.1590/S0101-74382010000100007
- Ensslin, S. R., Rodrigues, K. T.; Yoshiura, L. J. M.; da Silva, J. C.; & Longaray, A. A. (2022). Organizational performance management and the 'sustainability' of the performance evaluation system: a view guided by the integrative review perspective. *Sustainability*, 14(17), 11005. DOI: 10.3390/su141711005
- Ensslin, S. R.; Welter, L. M.; Pedersini, D. R. (2022). Performance evaluation: A comparative study between public and private sectors. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(5), 1761-1785. DOI: 10.1108/IJPPM-04-2020-0146
- Guener, S. (2018). Incorporating value judgments into port efficiency measurement models: insights from Turkish ports. *Maritime Economics & Logistics*, 20(4), 569-586. DOI: 10.1057/s41278-017-0062-z [26]
- Ha, M. H., Yang, Z., & Lam, J. S. L. (2019). Port performance in container transport logistics: A multi-stakeholder perspective. *Transport Policy*, 73, 25-40. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.09.021 [30]
- Hales, D., Lee Lam, J. S., & Chang, Y. T. (2016). The balanced theory of port competitiveness. *Transportation Journal*, 55(2), 168-189. DOI: 10.5325/transportationj.55.2.0168 [15]
- Hamid, N. (2018a). Factor analysis for balanced scorecard as measuring competitive advantage of infrastructure assets of owned state ports in Indonesia. *International Journal of Law and Management*, 2, 386-401. DOI: 10.1108/IJLMA-12-2016-0178 [24]
- Hamid, N. (2018b). Use balanced scorecard for measuring competitive advantage of infrastructure assets of state-owned ports in Indonesia. *Journal of Management Development*, 37(2), 114-126. DOI: 10.1108/JMD-12-2016-0313 [33]
- Hung, S. W., Lu, W. M., & Wang, T. P. (2010). Benchmarking the operating efficiency of Asia container ports. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 706-713. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.09.005 [4]
- Ignasiak-Szulc, A., Jušcius, V., & Bogatova, J. (2018). Economic Evaluation Model of Seaports' Performance Outlining Competitive Advantages and Disadvantages. *Engineering Economics*, 29(5), 571-579. DOI: 10.5755/j01.ee.29.5.21363 [19]
- Jang, H. M.; Park, H.; & Kim, S. Y. (2016). Efficiency Analysis of Major Container Ports in Asia: Using DEA and Shannon's Entropy. *International Journal of Supply Chain Management*, 5(2), 1-6. [20]
- Ju, S. M., & Liu, N. (2015). Efficiency and its influencing factors in port enterprises: empirical evidence from Chinese port-listed companies. *Maritime Policy & Management*, 42(6), 571-590. DOI: 10.1080/03088839.2014.996621 [21]
- Lebas, M. J. (1995). Performance measurement and performance management. *International Journal of Production Economics*, 41(1-3), 23-35. DOI: 10.1016/0925-5273(95)00081-X
- López-Bermúdez, B., Freire-Seoane, M. J., & González-Laxe, F. (2019). Efficiency and productivity of container terminals in Brazilian ports (2008-2017). *Utilities Policy*, 56, 82-91. DOI: 10.1016/j.jup.2018.11.006 [22]
- Matos, L. D. S., Ensslin, S. R., & Ensslin, L. (2019). Review on the Performance Measurement Systems Life Cycle. *Lex Localis-Journal of Local Self-Government*, 17(4), 939-959. DOI: 10.4335/17.4.939-959
- Melnik, S.A.; Bititci, U.; Platts, K.; Tobias, J.; & Andersen, B. (2014). Is performance measurement and management fit for the future? *Manag. Account. Res.*, 25, 173-186. DOI: 10.1016/j.mar.2013.07.007
- Munisamy, S., & Singh, G. (2011). Benchmarking the efficiency of Asian container ports. *African Journal of Business Management*, 5(4), 1397-1407. DOI: 10.4236/ojapps.2019.94024 [3]
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 80-117. DOI: 10.1108/01443570510633639
- Nguyen, H. O., Nguyen, H. V., Chang, Y. T., Chin, A. T., & Tongzon, J. (2016). Measuring port efficiency using bootstrapped DEA: the case of Vietnamese ports. *Maritime Policy & Management*, 43(5), 644-659. DOI: 10.1080/03088839.2015.1107922 [29]
- Oh, H., Lee, S. W., & Seo, Y. J. (2018). The evaluation of seaport sustainability: The case of South Korea. *Ocean & Coastal Management*, 161, 50-56. DOI: 10.1016/j.OCECOAMAN.2018.04.028 [23]
- Otley, D. (2001). Extending the boundaries of management accounting research: developing systems for performance management. *The British Accounting Review*, 33(3), 243-261. DOI: 10.1006/bare.2001.0168
- Pagano, A. M., Wang, G. W., Sánchez, O. V., & Ungo, R. (2013). Impact of privatization on port efficiency and effectiveness: results from Panama and US ports. *Maritime Policy & Management*, 40(2), 100-115. DOI: 10.1080/03088839.2012.756589 [25]
- Panayides, P. M., Lambertides, N., & Sawa, C. S. (2011). The relative efficiency of shipping companies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(5), 681-694. DOI: 10.1016/j.tre.2011.01.001 [13]

- Park, R. K., & De, P. (2015). An alternative approach to efficiency measurement of seaports. *Port management, Maritime Economics & Logistic*, 6, 273-292. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100094 [2]
- Pedersini D. R., Ensslin, S. R. (2020). Os Estudos Empíricos Internacionais no Setor Público têm feito uso dos Sistemas de Avaliação de Desempenho em sua Plenitude? *Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios*, V. 13 (1), 207-235. DOI: 10.19177/reen.v12e02019207-232
- Pinto, M. M., Goldberg, D. J., & Cardoso, J. S. (2017). Benchmarking operational efficiency of port terminals using the OEE indicator. *Maritime Economics & Logistics*, 19(3), 504-517. DOI: 10.1057/mel.2016.6 [16]
- Ramachandran, M.; Fegade, V.; & Raichurkar, P. P. (2017). Strategy performance evaluation of a port organisation based on multi-criteria decision making using fuzzy logic method. *NMIMS Management Review*, 33, 27-34. [32]
- Rezaei, J., van Wulfften Palthe, L., Tavasszy, L., Wiegmans, B., & van der Laan, F. (2019). Port performance measurement in the context of port choice: an MCDA approach. *Management Decision*, 57(2), 396-417 DOI: 10.1108/MD-04-2018-0482 [31]
- Schøyen, H., & Odeck, J. (2013). The technical efficiency of Norwegian container ports: A comparison to some Nordic and UK container ports using *Data Envelopment Analysis (DEA)*. *Maritime Economics & Logistics*, 15(2), 197-221. DOI: 10.1057/mel.2013.3 [14]
- Schøyen, H., & Odeck, J. (2017). Comparing the productivity of Norwegian and some Nordic and UK container ports-an application of Malmquist productivity index. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 9(2), 234-256. DOI: 10.1504/IJSTL.2017.082526 [17]
- Somens, K., Ensslin, S., Dutra, A., Ensslin, L., Ripoll-Feliu, V. M., & Dezem, V. (2017). Knowledge construction about port performance evaluation: An international literature analysis. *Intangible Capital*, 13(4), 720-744. DOI: 10.3926/ic.956
- Tetteh, E. A., Yang, H. L., & Gomina Mama, F. (2016). Container ports throughput analysis: a comparative evaluation of China and five West African Countries' seaports efficiencies. In *International Journal of Engineering Research in Africa* (Vol. 22, pp. 162-173). Trans Tech Publications Ltd. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.22.162 [18]
- Thiel, G. G.; Ensslin, S. R.; & Ensslin, L. (2017). Street lighting management and performance evaluation: opportunities and challenges. *Lex Localis-Journal of Local Self-Government* 15(2), 303-328. DOI: 10.4335/15.2.303-328
- Valmorbid, S. M. I., & Ensslin, L. (2016). Construção de conhecimento sobre Avaliação de Desempenho para gestão organizacional: uma investigação nas pesquisas científicas internacionais. *Revista Contemporânea de Contabilidade*, 13(28), 123-148. DOI: 10.5007/2175-8069.2016v13n28p123
- Wanke, P. F., Barbastefano, R. G., & Hijar, M. F. (2011). Determinants of efficiency at major Brazilian port terminals. *Transport Reviews*, 31(5), 653-677. DOI: 10.1080/01441647.2010.547635 [8]
- Welter, L. M.; & Ensslin, S. R. (2022). How do the unintended consequences of performance evaluation systems manifest themselves? *Journal of Accounting & Organizational Change*, 18(4), 509-528. DOI: 10.1108/JAOC-07-2020-0087
- Wu, J., Yan, H., & Liu, J. (2010). *DEA* models for identifying sensitive performance measures in container port evaluation. *Maritime Economics & Logistics*, 12(3), 215-236. DOI: 10.1057/mel.2010.6 [7]
- Wu, Y. C. J., & Goh, M. (2010). Container port efficiency in emerging and more advanced markets. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 1030-1042. DOI: 10.1016/j.tre.2010.01.002 [5]

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF PRE-DREDGING SEDIMENTS AND PROPOSALS FOR THEIR SUBSEQUENT MANAGEMENT IN THE PORT OF MAR DEL PLATA, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Graciela Cuello<sup>1, 2, 3</sup>, P. Garzo<sup>1, 2, 3</sup>, Ro Elias<sup>1</sup>, Francisco Isla<sup>1, 2, 3</sup>

**ABSTRACT:** Nowadays, the discharge of sediments from dredging works into the sea is one of the most critical problems affecting coastal management. Therefore, the characterization, assessment and handling of the materials to be dredged is of utmost importance. Since its creation, the Port of Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina, has presented a structural difficulty that affects its operation: the interruption of the strong littoral drift by its breakwaters generates an important sand sedimentation, blocking the access channel. This hampers the entry and maneuverability of large ships, while promoting sediment imbalances on a regional scale, causing coastal erosion on many beaches. At present, the administrative authorities of the port are proposing a new dredging work in order to restore adequate navigation depths. On this basis, the aim of this work was to assess the current sediment characteristics of the Port of Mar del Plata and compare it with previous results from 1996. Grain size, water content and organic matter were monitored at 12 stations. The results indicate that the external sector receives a larger share of sand than in 1996; silts and clays are preferentially deposited at the inner docks; organic matter, with increases compared to the previous study, accumulates in the inner docks with lower water renewal and higher contributions of waste-water. Based on these results, this work proposes beach nourishment as a management alternative for dredged sediments. Several urban beaches of Mar del Plata subject to regional-scale erosive processes could be the target sites. It is expected that this study will be used as a baseline for the improvement of the environmental quality of the port system as well as for pre- and post-dredging studies within the framework of an integrated coastal zone management.

**Keywords:** dredged material; particle settling; beach erosion; multivariate analysis; dumping zone.

**RESUMO:** Nos dias de hoje a descarga no mar de sedimentos provenientes de obras de dragagem, é um dos problemas mais críticos que afetam a gestão costeira local. Assim, a caracterização, avaliação e manuseamento dos materiais a dragar é de extrema importância. Desde a sua criação, o Porto de Mar del Plata, em Buenos Aires, Argentina, têm apresentado uma dificuldade estrutural no que respeita ao seu funcionamento: nomeadamente a forte interrupção da deriva litoral pelos seus quebra-mares, acarretando sedimentação significativa local de areia e bloqueando o canal de acesso. A atual configuração dificulta a entrada e a manobrabilidade de navios de grande calado, enquanto incute desequilíbrios sedimentares à escala regional, proporcionando erosão costeira em praias adjacentes. Atualmente, as autoridades administrativas do porto equacionam uma nova operação de dragagem para restabelecer profundidades de navegação adequadas.

O objectivo do corrente estudo foi o de avaliar as características actuais dos sedimentos do Porto de Mar del Plata e compará-las com características anteriores a 1996. Monitorizou-se o tamanho dos grãos, o teor de água e a matéria orgânica, em 12 estações. Os resultados indicam que o sector exterior recebe atualmente maior percentagem de areia do que em 1996; os siltes e argilas são preferencialmente depositados nas docas interiores; a matéria orgânica, registando aumento em conteúdo, em relação ao período de estudo anterior, acumula-se nas docas interiores com menor renovação de água e observando contribuições de águas residuais mais elevadas.

Com base nos resultados obtido, e alternativamente, este estudo propõe que se utilizem os sedimentos provenientes das dragagens em alimentação de praias. Várias praias urbanas de Mar del Plata sujeitas a processos erosivos de escala regional poderiam ser os locais de deposição dos dragados. Espera-se que este estudo seja utilizado como base de referência para a melhoria da qualidade ambiental do sistema portuário, bem como para suportar outros estudos de pré e pós-dragagem no âmbito de uma gestão integrada da zona costeira.

**Palavras-chave:** material dragado; deposição sedimentar; erosão de praias; análise multivariada; zona de descarga.

---

@ Corresponding author: [gracielaacuello@mdp.edu.ar](mailto:gracielaacuello@mdp.edu.ar)

1 Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMYC - UNMDP/CONICET), Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

3 Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (IGCC - UNMDP/CIC), Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

Submission: 4 AGO 2022; Peer review: 20 SEP 2022; Revised: 16 MAR 2023; Accepted: 16 MAR 2023; Available on-line: 2 MAY 2023

## 1. INTRODUCTION

The coast of Argentina offers a wide variety of port and harbor facilities. Among the most outstanding are, on the one hand, the fluvial ports located on the coast of the Paraná River (ports of San Nicolás, San Pedro, Campana and Zárate) and the estuarine ports of the Río de la Plata (Buenos Aires, Dock Sud and La Plata). The oceanic ports of Buenos Aires Province (Mar del Plata, Quequén, Coronel Rosales and Bahía Blanca) are used for the exportation of cereals and fish (Gualdoni and Errazi, 2006). The Patagonian region comprises several ports mostly concerned with fisheries activities (San Antonio Oeste Rawson, Puerto Madryn, Camarones, Caleta Córdova, and Caleta Olivia). Oil production is located offshore at Caleta Córdova, Caleta Olivia and San Sebastian Bay. Other activities of these ports include merchandise trade, storage, customs control, and ship construction and repair (Lasta, 2001; Costa, 2006).

The Mar del Plata Port construction was initiated in 1911 by the french Société Nationale de Travaux Public, and began its operation one year later. However, the formal inauguration took place in 1922. The military areas were constructed in 1926 as a Submarine Division by the National Law No 11378 (Cicalese, 1997). During the thirties, the port was totally completed in its design with maximum activities comprising commerce, military and touristic vessels (Miccio and Vellenich, 2002). The operation of the port depended on the Federal Government, through the Port Administration (currently Administración General de Puertos de la República Argentina) from its inauguration until 1991. Then, it was transferred to the Province of Buenos Aires by Decree No. 3572/00 as a regional consortium (Consortio Portuario Regional Mar del Plata, CPRMDP) in charge of its administration and operation (Gualdoni & Errazi 2006). This port is almost entirely oriented to fishing activities. Considering that it comprises small and long-distance vessels that generate much organic wastes, recreational and touristic activities are only concerned to the summer months (January and February, Villemur, 1988).

Given the economic and tourist importance of this port, it is necessary to have an updated environmental baseline that allows for the sustainable development of its activities, as well as the monitoring of those that could be detrimental to its environmental and operational quality.

### 1.2. The Mar Del Plata Port Setting

The city of Mar del Plata is located at the south eastern extreme of the province of Buenos Aires, Argentina ( $38^{\circ} 01' S$ ;  $57^{\circ} 32'$

W) (Figure 1), and is one of the most important coastal-maritime cities in the country given its tourist development (more than 8 million visitors annually) and its permanent population of approximately 650,000 people (<https://www.mardelplata.gov.ar/MardelPlata>). Mar del Plata port, occupying 220 ha, is emplaced between two capes composed of orthoquartzites of the Balcarce Formation (Corrientes Cape and Mogotes Point), at the outlet of the Del Barco creek (Cortelezzi *et al.*, 1971). Two breakwaters protect it: the southern one (Escollera Sur) with a NE orientation and 2,750 m longer; and the northern one (Escollera Norte) oriented to the SE with 1,099 m longer (Figure 1). At the same time, it is divided in two sectors: the northern one concentrates the military (submarines and vessels of the Argentinian Navy) and nautical club's (recreational) activities; the southern one has several docks of different depths for the requirements of different fishing activities. Oil and gas transport facilities are located at the middle of the southern breakwater. The operative sector consists of five inland docks that act as a shelter for the various port activities and facilities (De Boer *et al.*, 1997).

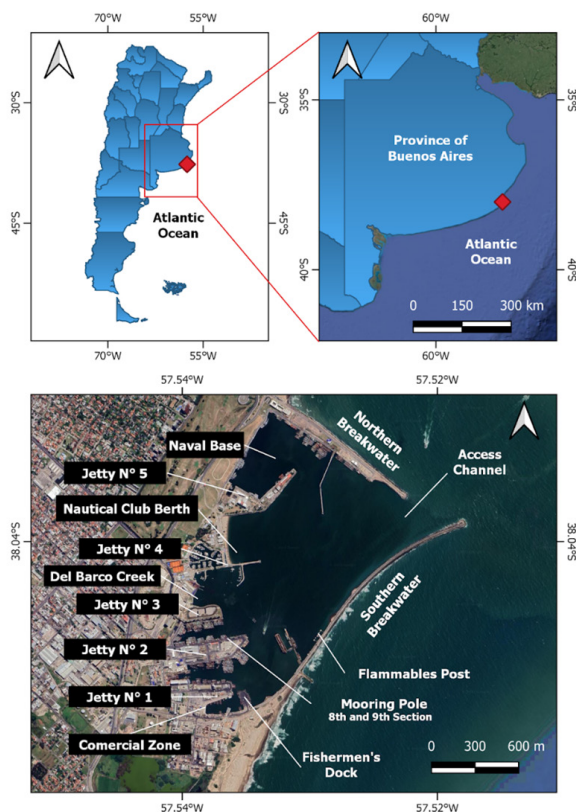


Figure 1. Up: location of the Mar del Plata Port in the Province of Buenos Aires, Argentina. Down: Mar del Plata Port's docks, breakwaters and sectors.



In Mar del Plata, the wave regime is bimodal with prevailing SE and ENE directions; the mean wave significant height is of 1.5 m and the mean peak period of 7 s (Lanfredi *et al.*, 1992; Isla, 2010; Figure 2). A potential northwards drift was estimated at 390,000 m<sup>3</sup>/yr, according to the wave-energy statistics (Caviglia *et al.*, 1992). Based on morphological variations, a minimum net drift of 100,000 m<sup>3</sup>/yr was estimated (Isla, 2014). For sediment grain sizes of 0.2 to 0.5 mm a longshore drift of 300,000 m<sup>3</sup>/yr to 500,000 m<sup>3</sup>/yr was calculated (Van Rijn, 2008).

This strong littoral drift, together with structural deficiencies in the port's original design, have generated obstacles in the port operation since its origin. The disruption of this current with the harbor defense structure produced the accumulation and growth along the coast of a sandbar at the tip of the southern breakwater. This embankment is induced by the refraction of waves coming from the south. To the north, the beaches receive less sand and are therefore sedimentarily unbalanced. These processes have been repeatedly analyzed for the Mar del Plata Port (Sunrise Technical Consultants, 1971; Isla & Schnack, 1986; Lagrange, 1993; Isla, 2010; Cáceres & Castellano 2012; Gyssels *et al.* 2013; Pontrelli-Albisetti *et al.*, 2015; Isla, 2015).

Due to the strong sedimentation in the access area to the port, successive dredging operations were carried out in the access channel. It was projected with a width of 100 m and a draft of 12 m deep; however, a width of 45 m and a depth of 9 m have

been identified (De Boer *et al.* 1997). By 2021, the channel had an orientation to the SSW (238° 39') with a width of 100 m and 11 m depth. In the last years, dredging efforts are needed to permit depths of 12 m for the operability of large fishing vessels, touristic ships and containers (Miccio & Vellenich, 2002).

The construction of the port of Mar del Plata changed the sediment balance on all the city's beaches, and even in neighboring counties. The subsaturation of the sedimentary flow of the coastal drift current promoted erosive processes towards the north of the harbor (Isla *et al.*, 2005). Sediment imbalance induced by the construction of the port breakwaters has resulted in approximately half of the incoming sediment accumulating at the port entrance (Pontrelli-Albisetti *et al.*, 2015).

The response to this lack of sand was to systematically implement breakwaters, jetties and groins, shifting the erosion problem in the same direction as the advance of the littoral drift current and promoting the construction of more coastal defense infrastructure northwards (Isla, 2006). The influence of these works and their relationship with coastal erosion has been extensively studied, mainly in the sector between the towns of Miramar and Parque Atlántico Mar Chiquita (Merlotto & Bértola, 2007; Bunicontro *et al.*, 2013; San Martín *et al.*, 2014; Bunicontro *et al.*, 2015; Isla *et al.*, 2015; Isla *et al.*, 2018).

Other coastal erosion management tools have been less used

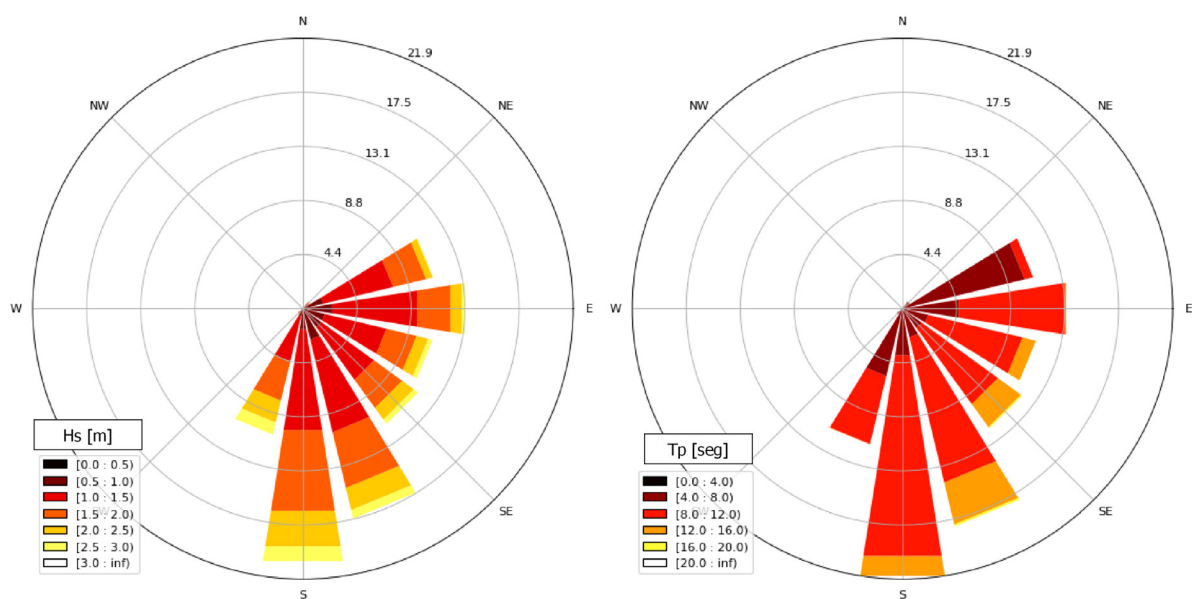


Figure 2. Wave roses for the significant wave height (Hs) [m] and peak wave period (Ts) [s]. Data calculated by Instituto Nacional del Agua (INA).

in Argentina. The beach nourishment method was proposed in the 1980s (Isla & Schnack, 1986) and carried out for only one time in 1998 on three beaches in Mar del Plata (Bértola, 2001; Marcomini & López, 2004). Detached breakwaters were also proposed taking into account its effectiveness in reducing cliff retreat while not interrupting coastal drift. These structures are external, not linked to the beach and parallel to the coastline, reducing wave energy towards the coast and even ensuring the normal flow of the littoral drift current. This wave energy reduction promotes beach replenishment by sediment deposition (Gyssels *et al.*, 2007). In 2007, the Coastal Protection Plan (*Plan Director de Protección de Costas*) for Mar del Plata, proposed the construction of sixteen of these structures at a distance of about 250 m from the coast. However, due to some resistance of non-governmental organizations and some financial issues, only three of them were constructed by 2012 (Isla *et al.*, 2018).

Thus, hard defense structures perpendicular and linked to the coast, continue to be the most used structure for the resolution of erosion problems at local and micro-local scales in the province of Buenos Aires. Isla (2015) estimated the flow of the littoral drift current at the Mar del Plata Port entrance as 220,000 m<sup>3</sup>/yr. However, De Boer *et al.*, (1997) identified that at least half of the incoming sediment supply is retained at the southern breakwater. This led for decades to a systematic implementation of groins, jetties and breakwaters northwards, promoting a regional scale erosion problem. In addition, the drift flow was calculated as 60,000 m<sup>3</sup>/yr in the neighboring county of Mar Chiquita (Figure 3). This evidence suggests that the availability of sediments resulting from port dredging could represent an important potential for beach nourishment plans within the framework of coastal management plans and programs.

Dredging of seaports is required to maintain navigational depth in harbors but removed sediments are often heavily contaminated, resulting in a serious waste management problem (Caplat *et al.*, 2005). The dredged material has different physical and chemical characteristics from the sediment at the dumping zone, causing increments in the nutrients and turbidity, enrichment of contaminants and organic matter, changes in sediment dynamics or particle size, food chains, on the benthic communities (Lee *et al.*, 2010; Fang *et al.*, 2013; Dauvin *et al.*, 2022). In turn, the final effects depend on a number of factors such as the form, duration and method of dumping, physical and chemical characteristics of the dredged sediment, oceanographic conditions and the dispersal around the dumping sites (Palanques *et al.*, 2022).

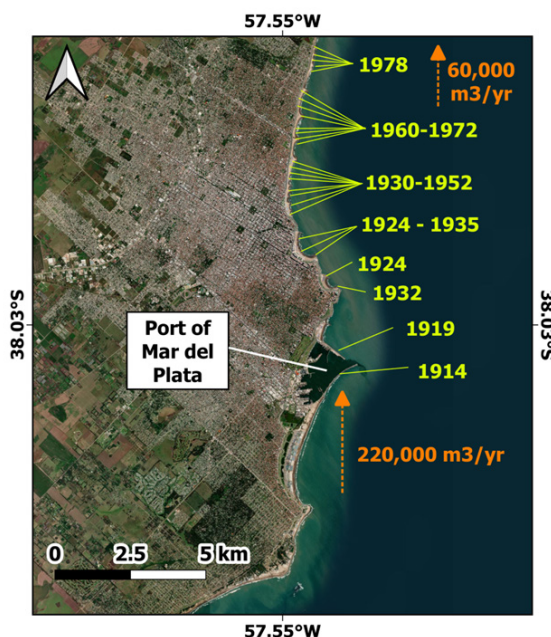


Figure 3. Magnitude of the littoral drift current at the entrance channel of the port and to the north (orange arrows); date of the original construction of groins, jetties and breakwaters (yellow). Source: modified after De Boer *et al.* (1997) & Isla (2015).

Pollutants, in such port sediments, may be remobilized due to bioturbation and resuspension, constituting a potential hazard (Zoumis *et al.*, 2001). The concentration of pollutants in the water column can exhibit significant temporal and spatial variability, which causes problems in obtaining representative samples (Binning & Baird, 2001). However, sediment samples are in constant flux with the water column and incorporate pollutants over time. Thus, temporal analysis of sedimentary samples allows the detection of changes that may be absent or in low proportions in the water column (Davies *et al.*, 1991). Therefore, laboratory analysis of samples has historically been the most widely used tool for monitoring sediment quality (Sany *et al.*, 2013).

De Boer *et al.* (1997) carried out a study in the port of Mar del Plata with the objective of evaluating possible solutions to the lack of accessibility to the entrance channel, the presence of contaminated waste in the inner docks and port management strategies. Sediment characteristics and concentrations of various contaminants were analyzed. The results indicated a sediment distribution dominated by mud (silt and clay) and high organic-matter content in the dock areas. A total of approximately 200,000 m<sup>3</sup> of highly contaminated waste was also estimated to be removed from the port of Mar del Plata in future dredging works. In 2021, the CPRMDP in charge of the

port's operation estimated to dredge 600,000 m<sup>3</sup> of sediment in 150 days to ensure the port's performance. The access channel and the flammables post sector were the preferential areas to dredge (Figure 1).

Based on this, the objective of the present study was to assess the current sediment characteristics in different sectors of the Port of Mar del Plata before dredging and to compare the results with those obtained in 1996 (De Boer *et al.*, 1997). In this way, it is intended to generate an environmental baseline to support possible future dredged material management activities, in view of the recent actions promoted by the CPRMDP in the Port of Mar del Plata.

This paper is organized in five sections as follows. Section 2 presents the data acquisition, the sampling procedure and the methods carried out in order to assess the sediment characteristics. Section 3 shows the results of the proposed analysis and its comparison with those obtained in 1996. Section 4 discusses these results and aims to propose recommendations for the sustainable management of dredging works. Finally, section 5 presents the main conclusions of this paper.

## 2. METHODS

Surface sediment was sampled at 12 sites in the Mar del Plata Harbor. Replicates (2) were performed using a Snapper dredge and excavation devices employed by divers with 24 samples (Figure 4). The samples were placed in plastic bags and kept cold, in order to be transported to the laboratory for further analysis. These samples were analyzed to be compared to the samplings performed in 1996 (De Boer *et al.*, 1997).

Sediment samples were dried and burned to estimate organic matter by loss of ignition (LOI) during 4 hours at 550°C (Heiri *et al.*, 2001). Water content was estimated by drying 20 g during 24 hours. The organic matter was eliminated with peroxide of hydrogen (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Later, carbonates were eliminated by chlorhidric acid (HCl) (Reeuwijk, 2003). Sand was separated from muds, washed to eliminate salts and sieved each 0.5 phi units using a sieve shaker. The percentages of silt and clay were estimated by the pipette method suggested by (Folk, 1974).

Multivariate analysis is a useful tool for the characterization and management of pre- and post-dredging sediments. It could be applied for exploratory data analysis (*e.g.*, to determine similarities and dissimilarities between sampling stations and

sampling areas and to identify data structure characteristics), reducing the cost of investigations without reducing confidence in the final assessment (Casado-Martínez *et al.*, 2009; Cesar *et al.*, 2014).

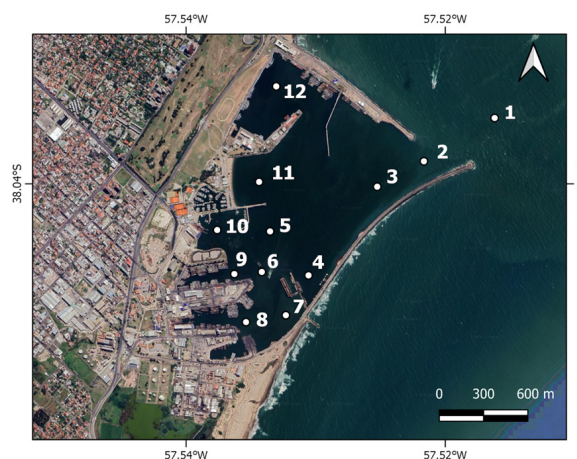


Figure 4. Location of the 12 surface sediments sampling sites in the Mar del Plata Harbor.

With the purpose of recognizing significant differences between both samplings (1996 and 2021) a cluster analysis was performed. Dendrograms were constructed using the Euclidean distance as distance parameter and Ward's method as linkage method (Aitchison, 1992; Martín-Fernández *et al.*, 1998 y Aitchison *et al.*, 2000).

The results obtained from the current sampling sites and those carried out in 1996 (De Boer *et al.*, 1997) were spatially interpolated in order to recognize spatio-temporal variations. This interpolation was carried out using the IDW method (Mitas & Mitasova, 1999).

Finally, data was standardized to a common scale, previous procedure for an ordination process (Legendre & Birks, 2012). A Principal Component Analysis (PCA) test was performed to reduce factors of variability, which allows us to interpret the data and explain its structure. The PCA analysis was used for descriptive and/or exploratory purposes; therefore, it is not necessary to meet the multinormality criterion (Jolliffe 2002). Dendrograms were drawn with the R software 4.1.0 (R Core Team, 2021); the PCA was tested Past (v 4.09; Hammer *et al.*, 2001); the interpolation method was carried out with the software QGIS (v 3.22; QGIS, 2022).

### 3. RESULTS

#### 3.1. Sediment characteristics

Dendrograms performed with the 2021 sampling data showed 3 groups, with subgroups according to sediment characteristics (Figure 5). The first group was associated with samples from sites 1 and 2 near to the port entrance. The second group was associated with samples from site 11, near the Nautical Club. The third group includes sampling sites 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, and 12.

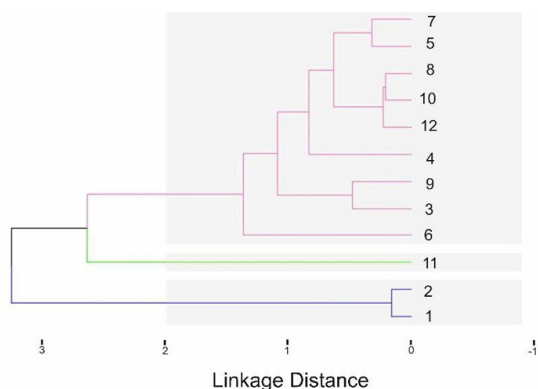


Figure 5. Euclidean distance dendrograms for the 2021 surface sediment-sampling sites.

Based on the sampling carried out in 1996, three groups can be distinguished, with slight differences compared to that of 2021 (Figure 6). The first group includes sampling sites 1 and 4 (close to the port entrance channel). The second group comprised sites 2 and 3 (entrance channel). The third group comprised sites 5, 6, 7, 8, 9 and 10, all located at the interior docks vicinities.

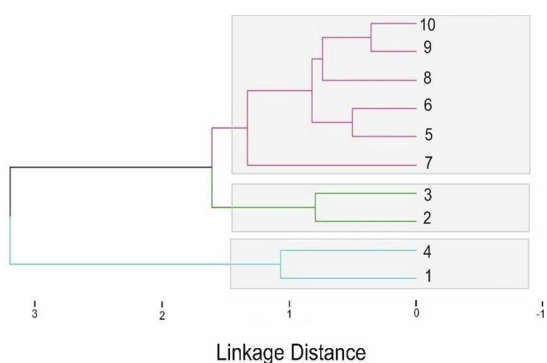


Figure 6. Euclidean distance dendrograms for the 1996 surface sediment-sampling sites. Data collected by De Boer *et al.*, (1997).

PCA analyses were performed with two samplings in order to compare the results. The analysis indicated that five components were able to explain the total variance (Figure 7). First component explained 62% gathering the sand percentage and the water

content. On that axis, a spatial pattern was observed, where higher water contents were measured in 1996 in the docks area; an opposite pattern with higher sand content was estimated at the channel areas in 2021. The second component explained only 22% of the total variance comprising silt, total organic matter, and clay contents. In this axis, a temporal pattern was observed. Silt and organic matter (OM) were higher in 1996 in the docks areas and the Nautical Club in 2021; instead, clay is higher in 2021 at the same areas.

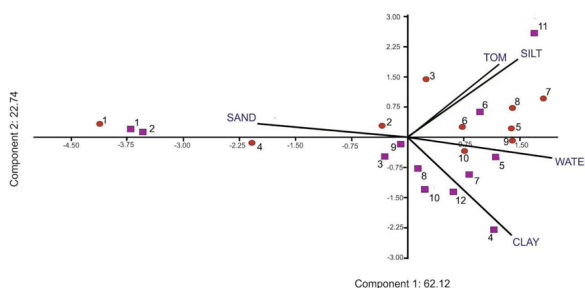


Figure 7. PCA of the stations sampled. Circles correspond to the 1996 sampling, and squares to that performed in 2021.

#### 3.2. Changes in sediment 1996-2021

Mar del Plata port presented several changes between 1996 and 2021. In 1996, silts dominated at the docks and sand at the outlet (De Boer *et al.*, 1997). In the 2021 sampling, clay percentages increase towards the docks (Figure 8). The heterogeneous distribution of sediments is conditioned to hydrodynamic processes as tidal, wave and pluvial effects. The interior of the port (docks) have more percentage of clay, suggesting flocculation and settling effects and presence of nepheloid layers. The energy fluctuations at the port entrance are induced by waves, conditioning the sand transport. The results of this work show significant variability in sediment properties between sampling sites.

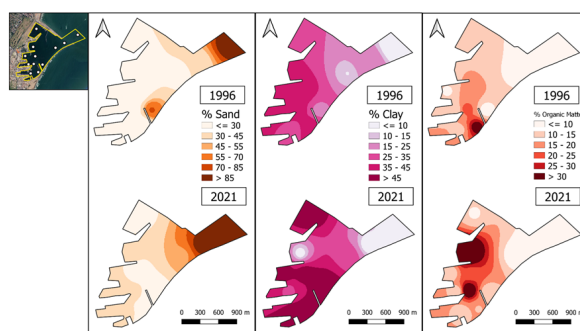


Figure 8. Spatio-temporal variation of the results obtained. IDW interpolation and comparison between the sampling carried out in 2021 and 1996 (De Boer *et al.*, 1997).

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Future dredging works

The results of this study demonstrate that the application of multivariate analysis was particularly useful for evaluating and interpreting the results in an integrated way, especially when there is a large number of parameters analyzed in an environmental assessment. The use of multivariate statistical techniques applied to these data provides a useful tool for pre- and post-dredging studies (Casado-Martínez *et al.*, 2009).

In pre-dredging studies, it is important to determine the particularities of the port environment in the so-called normal conditions of maritime traffic and establish a monitoring procedure that will be carried out during operations, like was done in the port of Genova (Italy). Dredging must consider the proximity to areas that must be protected from the negative effects of sediment movement (bathing beaches, mammals setting). On the other hand, dredging operations need constant bypassing of large volumes of sand across the port entrance (Capello *et al.*, 2010).

The results of this study lead the authors to take special care about the sediments that should be extracted in future dredging works. Multiple anthropogenic stressors are likely to affect the environmental health of the entire ecosystem. A large part of the harbor waste comes from berthing and storage sites, administrative offices and recreational clubs activities; a small percentage is distributed among waste from ships, canteens, and workshops, among others (Valverde-Enciso, 2018). The silt-clay sediments and their high organic matter content found in the inner docks of the port, related to the extensive use of hydrocarbons (e.g., fuels, motor oils, maritime traffic, moorings for pleasure craft, the shipyard, etc.), residual discharges from Del Barco creek, and the historical use of biocides in antifouling paints, can have ecological and environmental consequences related to resident biota and the deposition of contaminant particles.

Del Barco creek acts as an important piped storm-drain channel across the City of Mar del Plata. It benefits 14 neighborhoods in the port area and the south of the city and is intended to channel all the rainwater that may flow through this zone (Figure 9). In addition, few industries have any kind of primary treatment system, while most of them discharge their saturated liquid waste directly into the sewers or storm drains. The wastewater discharge without prior treatment saturates the drainage network and generates a significant increase in organic matter

in the confined waters of the port, specifically those housed in the sector of the offshore dock where the creek discharges (Figure 9; Yurkievich, 2013). In addition, silt-clay sediments act as traps for toxic substances, which could be easily suspended by maritime traffic and storms, eventually making them more available to benthic biota (Yebra *et al.*, 2004; Muniz *et al.*, 2015; D' Alessandro *et al.*, 2020).

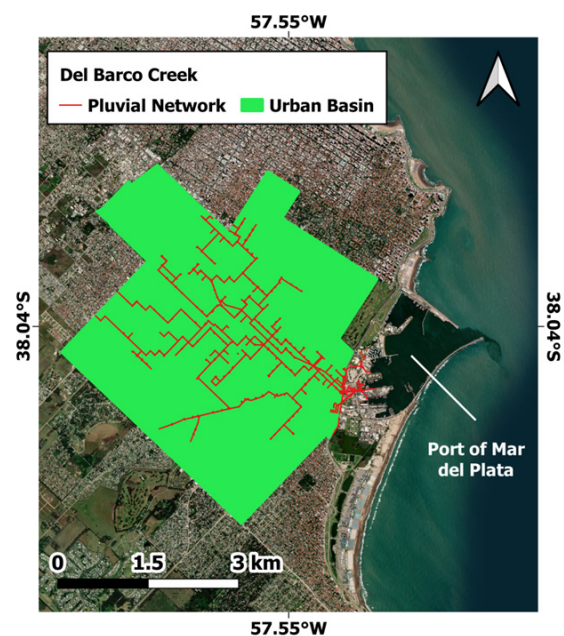


Figure 9. Del Barco creek urban basin and its pluvial network. It supports 14 neighborhoods in the southern area of Mar del Plata, discharging in the port. Source: open access database of the General Pueyrredon County (<https://datos.mardelplata.gob.ar/>)

Studies in the internal sectors of the port of Quequén (Necochea, Buenos Aires) show very high values of organic contamination due to the management of cereals in the port area, which confirm that grain size and total organic carbon (TOC) affect the habitat, diet and survival of benthic organisms (Godoy *et al.*, 2011). Caplat *et al.* (2005) have identified Total Organic Carbon (TOC) levels between 5% and 10% in dredged sediments from the harbor of Port-en-Bessin, northwest of France. Those sediments are characterized by a high proportion of reducing materials (oxides, oxyhydroxides) that can give rise to metallic sulfides through diagenetic processes, and therefore are sinks for trace metals (Douglas & Adeney, 2000).

Along the southern breakwater of the Mar del Plata harbor there is a colony of sea lions with normally more than 100 specimens (Rodríguez & Bastida, 1998). At the same time, a population of seahorses (*Hippocampus patagonicus*) is stable along the

northern breakwater (Pujol, 2014). Future dredging plans should also take into account the presence of these communities.

The sediment characterization of the inner docks showed a shift from higher TOM concentrations at the vicinity of the fishermen's docks towards the nautical club berth and the mooring pole between 1996 and 2021. Mar del Plata's population grew from 532,000 to 620,000 inhabitants between 1991 and 2010. Moreover, a total population of 670,000 inhabitants is forecasted for 2025 (<http://www.estadistica.ec.gba.gov.ar/>). This demographic increase together with a growth in the tourist inflow and in the industrial activities could have led to an intensification in the disposal use of the aforementioned urban basin. In addition, the recreational club's activities have also been increased; the Mar del Plata Nautical Club showed a 25% increase in their memberships between 2019 and 2022, representing a record for the last 30 years (<https://www.cntp.org.ar/>). This intensification in the waste disposal could have promoted higher TOM levels at the inner docks. Moreover, this section of the port is characterized by a very low water renewal, which could have generated proper conditions for organic matter accumulation. Finally, a decrease in the clay concentration and a growth in the sand content was observed in the nautical club berth by 2021. This could be linked to beach nourishment works carried out by the club's administration in order to promote the touristic use of this area.

#### 4.2. Post-dredging dumping

Large volumes of polluted sediments from dredging efforts make remediation difficult. Any remediation strategy must include simultaneous programs to identify and reduce inputs of these pollutants to the marine environment, and hence to the bottom sediments (Birch & Taylor, 1999). Therefore, for the regulation of massive, long-lasting and intense dumping activities at landfills, a number of specific actions should be considered. Dump-induced shock waves to estimate the dispersion of dumped material must be assessed; spatial and temporal evolution of turbidity characteristics, even beyond the landfill boundaries, during and after the disposal of the dredged material must be monitored. With more emphasis on low dispersion environment, hydrodynamic processes do not allow a rapid dilution of the dumped material (Palanques *et al.*, 2022).

Considering the results of this study, recommendations can be proposed for the sustainable management of the dumping zone. Mar del Plata port needs a dumping site zone for submerging the accumulated wastes and today attached at some docks (mostly abandoned ships). These types of dumping sites zones

are necessary for a port of great activity generating great volumes of waste (Chin & Ota, 2000; Karl *et al.*, 2001; Bolam & Rees, 2003; Dufour & Van Lancker, 2008). However, for these purposes it is necessary to locate this type of dumping site at a certain location either at the province jurisdiction (3 nautical miles) or at the national domain (offshore from 3 nautical miles).

#### 4.3. Beach management as an alternative

Hydrodynamics, sediment sources, and the compartments between docks conditioned the sediment dispersal. The port was constructed when the volume of littoral drift was not known nor the engineering alternatives to avoid the sand accumulation (*e.g.* sand traps or sand bypassing). Other ports on the Argentine-Uruguayan coastal plain have presented similar results in relation to sedimentation problems. The Montevideo port (Uruguay), at the outlet of the Río de la Plata, received important volumes of silt from the episodic inputs of the Río de la Plata discharge (Muniz *et al.*, 2015, Venturini *et al.*, 2004). The Quequén Port (Buenos Aires) is also conditioned by higher inputs of sand transported by longshore drift and causing a huge amount of sand at the extreme of its dock (Godoy *et al.*, 1988).

In Mar del Plata, the obstruction of the longshore drift current has increased the erosion problem over the last 100 years, affecting the operation and economy of the port, as well as the degradation of the tourist resource and the bathing quality of the beaches. The beach of the Punta Mogotes tourist Complex, located immediately south of the port, is artificial. The sedimentary accumulation was caused by the construction of the southern breakwater and has become the most crowded tourist beach in Argentina (Isla, 2001). However, all the tourist beaches to the north of the port have suffered significant erosion processes. In order to solve this problem, the National Government invested in dredging and replenishment works at the end of 1998. The dredging of the sand bank at the extreme of the southern dock was analyzed in terms of the grain sizes and the nourishment of the beach of Playa Grande (Isla & Schnack, 1986). Sediments were pumped from the sand bank in the port access channel to three important tourist beaches located north of the port. It is estimated that about 1.6 million m<sup>3</sup> of sand was redistributed along these three beaches (Bértola, 2001; Marcomini & Lopez, 2006). These works permitted the increase of 300% of the beach's surface (Bértola, 2001; Marcomini & Lopez, 2006; Padilla & Eraso, 2012). However, the nourished sand presented a fine texture that caused a rapid loss during the first stages post-nourishment (Isla, 2006).

Coastal protection systems have undergone a major change on a global scale in recent decades; “hard” techniques, such as groins, jetties and breakwaters, have gradually been replaced by “soft” works. Artificial beach nourishment and sedimentary by-pass are now considered as two very effective soft methods for beach protection and restoration (Pontrelli-Albisetti *et al.*, 2015).

It is very important to evaluate the material to be used for beach fill; natural selection processes act on it, redistributing the finer part offshore and the coarser debris to the surf zone, which does not provide a functional use in controlling beach erosion. One option is the case study known as Guardialfiera Reservoir, southern Italy, which used sand dredged from reservoirs instead of marine sand. Using marine sand could alter the bathymetry, inducing a variation in wave climate and exposing marine life to serious risks (De Vincenzo *et al.*, 2018).

However, these approximations can only be applied to the sandbank accumulated at the access channel of the port, and not to the sediments inside the port, as these sediments contain not only high values of organic matter, but also many trapped contaminants, whose dredging can spoil environmental conditions. Benthic indicators, most used ecological indicators, also showed very poor environmental conditions in docks at the central part of the Mar del Plata port, while better conditions were present in the mouth (Rivero *et al.*, 2005). In addition to benthic organisms, which are directly related to sediment quality, there are other species to be taken into account in the environment of the Port of Mar del Plata.

Based on the results of this work, those sand embankments located on the entrance channel and even those retained in the southern breakwater could be proposed as nourishing sediments for unbalanced beaches located northwards (Figure 10). Assuming that these sediments are in a well environmental condition, their textural characteristics must be taken into account. James (1975) proposed a method for verifying the aptitude of a nourishing sediment in order to feed a natural beach and it is based on sand granulometric characteristics of both sites. In this way, the dynamic behavior of the supplied sand and the time span between successive nourishments can be estimated (Mojica *et al.*, 2022).

In addition to the proposed beach nourishment, the dredged material, after adequate treatment, can be reused in a positive way by depositing it on land for construction, public works, building materials (such as bricks, blocks without structural purposes and in combination with construction waste) and

dike rehabilitation, among others (Mymrin *et al.*, 2016). The industrial utilization of this type of waste can replace traditional raw materials, minimizing the extraction of natural resources and ultimately reducing the degradation of coastal areas by reducing the current practice of these discharges into the marine environment.

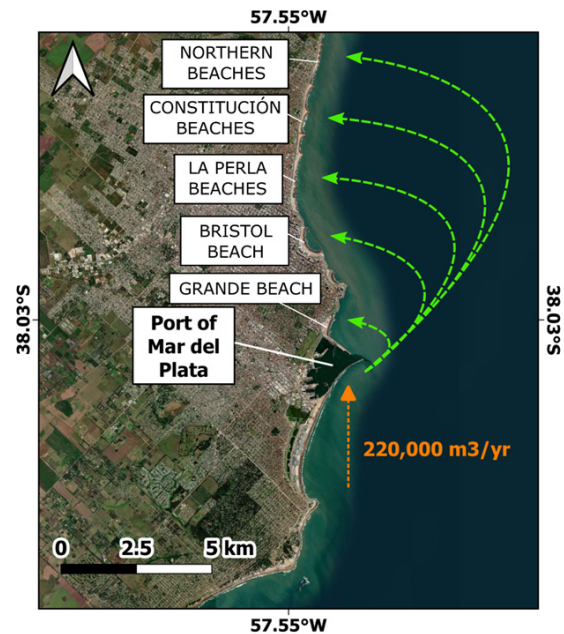


Figure 10. Schematic representation of a potential beach nourishment in the city of Mar del Plata, taking into account those sand embankments at the port entrance and the southern breakwater as loan zones.

## 5. CONCLUSIONS

The results of this study revealed important differences between the 12 sampling sites within the port of Mar del Plata. Sand currently dominates at the access channel while silt towards the inner docks (Nautical Club, Del Barco creek discharge zone and southern breakwater area). Organic matter accumulates in the compartments of the inner docks with lower water renewal, higher runoff and pluvial discharges and higher contributions of waste from different recreational, administrative and operational activities. Thus, sediment distribution is highly conditioned by hydrodynamic processes as tidal, wave and pluvial effects.

The current port sediment characteristics also present differences with those estimated for 1996. It was observed a shift from higher organic matter concentrations at the vicinity of the fishermen's docks towards the nautical club berth and

the mooring pole. The demographic increase in Mar del Plata, the growth in the touristic inflow and industrial activities, the recreational clubs development and the intensification of the disposal use of the Del Barco creek urban basin could explain these results. In addition, a decrease in the clay concentration and growth in the sand content could be linked to beach nourishment works.

The obstruction of the longshore drift current at the southern breakwater has promoted regional-scale erosion problems over the last 100 years. It affects the operation of the port as well as the environmental quality of tourist beaches of Mar del Plata. Coastal defense structures have been systematically implemented in order to protect these beaches. However, artificial beach nourishment or sedimentary by-pass methods have not been implemented yet. This work proposes a beach nourishment process by taking into account dredged sediments from the sand embankments located at the entrance channel as loan sites. Unbalanced urban beaches located northwards could be the target sites. Textural characteristics of the sediments must be taken into account. At this point, it is necessary to obtain a larger number of samples at each station and mainly in the vicinity of the access channel and adjacent to the breakwaters, as this is where most dredging activity takes place.

The results of this work reinforce the usefulness of multivariate analysis for an environmental assessment of a large number of parameters in pre-dredging works. It is expected that this study will be used as an important monitoring tool for the improvement of the environmental quality of the port system as well as a baseline for pre- and post-dredging studies. Future dredging plans should take into account their impact on the quality of Mar del Plata's tourist beaches as well as proper post-dredging treatments in order to guarantee an adequate sediment dumping.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank E. Hines and E. Llanos for supporting the lab activities; J. P. Lancia helped with the sediment procedures performed at the Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (IGCC - UNMDP/CIC). This work was supported by the Consorcio Portuario Regional Mar del Plata (CPRMDP); its authorities agree to the diffusion of the harbor conditions.

## CREDIT AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT

Cuello, G.V.: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Visualization, Writing - review & editing. Garzo, P.A.: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Visualization, Writing - review & editing. Elías, R.: Conceptualization, Investigation, Writing – review & editing, Supervision, Project administration. Isla, F.I.: Conceptualization, Investigation, Writing – review & editing, Supervision, Funding acquisition, Project administration.

## REFERENCES

- Aitchison, J. (1992). On criteria for measures of compositional difference. *Mathematical Geology* 24: 365-379.
- Aitchison, J., Barceló-Vidal, C., Martín-Fernández, J.a. & Pawlowsky-Glahn, V. (2000). Logratio analysis and compositional distance. *Mathematical Geology* 32: 563-580.
- Bértola, G. R. (2001). 21 Years of Morphological Modifications in an Urbanized Beach (Playa Grande, Mar de Plata), Argentina. *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 17(2), 21-36
- Birch, G., & Taylor, S. (1999). Source of heavy metals in sediments of the Port Jackson estuary, Australia. *Science of the Total Environment*, 227(2-3), 123-138.
- Bolam, S. G. & Rees, H. L., (2003). Minimizing impacts of maintenance dredged material disposal in the coastal environment: A habitat approach. *Environmental Management* 32, 2, 171-188.
- Bunicontro, M. P., Marcomini, S. C., & López, R. A. (2013). Zonificación de la erosión costera en la localidad de Santa Clara del Mar, provincia de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, (31); 1-15.
- Bunicontro, M. P., Marcomini, S. C., & López, R. A. (2015). The effect of coastal defense structures (mounds) on the southeast coast of Buenos Aires province, Argentina. *Ocean & Coastal Management*, 116: 404-413.
- Cáceres, R. A., & Castellano, R. D., (2012). Dinámica litoral en el entorno de la escollera sur del Puerto de Mar del Plata. VII Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria, 16.
- Capello, M., Cutroneo, L., Castellano, M., Orsi, M., Pieracci, A., Bertolotto, R. & Tucci, S. (2010). Physical and sedimentological characterisation of dredged sediments. *Chemistry and Ecology*, 26(S1), 359-369.
- Caplat, C., Texier, H., Barillier, D., & Lelievre, C. (2005). Heavy metals mobility in harbor contaminated sediments: the case of Port-en-Bessin. *Marine Pollution Bulletin*, 50(5), 504-511.



- Casado-Martínez, M. C., Forja, J. M., & Delvals, T. A. (2009). A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2-3), 1353-1359.
- Caviglia F.J., J.I. Pousa & N.W. Lanfredi, (1992). Transporte de Sedimentos: una alternativa de cálculo. II Congreso de Ciencias de la Tierra, Chile, 413-422.
- Cesar, A., Lia, L. R. B., Pereira, C. D. S., Santos, A. R., Cortez, F. S., Choueri, R. B., & Rachid, B. R. F. (2014). Environmental assessment of dredged sediment in the major Latin American seaport (Santos, São Paulo–Brazil): An integrated approach. *Science of the Total Environment*, 497, 679-687.
- Chin, J. L. & Ota, A., (2000). Disposal of dredged material and other waste on the Continental Shelf and Slope. USGS, Report, 193-206.
- Cicalese, G. (1997). Gestión provincial portuaria: privatización y conflicto de intereses con el gobierno local. El caso del puerto de la ciudad de Mar del Plata, 1994. *Revista Comunicaciones*, 4(34), 4-14.
- Cortelezzi, C. R., Cazeneuve, H., Levin, M., & Mouzo, F. (1971). Estudio del movimiento de sedimentos en la zona del puerto de Mar del Plata mediante el uso de radioisótopos. En: *Anales LEMIT. Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT). pp*
- D'Alessandro, M., Porporato, E. M., Esposito, V., Giacobbe, S., Deidun, A., Nasi, F. & Romeo, T. (2020). Common patterns of functional and biotic indices in response to multiple stressors in marine harbors ecosystems. *Environmental Pollution*, 259, 113959.
- Dauvin, J. C., Baux, N., & Lesourd, S. (2022). Benthic impact assessment of a dredge sediment disposal in a dynamic resilient environment. *Marine Pollution Bulletin*, 179, 113668.
- Davies, C.a., Tomlinson, K. & Stephenson, T. (1991). Heavy metals in River tee estuary sediments. *Environ. Technol.* 12 961 - 972.
- De Boer, S., De Jorge, A. M., Brouwer, H., Eversdyk, P. J., Evertse, M. & Sluijs, W. J. H., (1997). Port and coastal study Mar del Plata. Report WB1062-4-96045, Rijkswaterstaat, 127.
- De Vincenzo, A., Covelli, C., Molino, A. J., Pannone, M., Ciccaglione, M., & Molino, B. (2018). Long-term management policies of reservoirs: Possible re-use of dredged sediments for coastal nourishment. *Water*, 11(1), 15.
- Douglas, G.B. & Adeney, J.A., (2000). Diagenetic cycling of trace elements in the bottom sediments of the Swan River Estuary, Western Australia. *Applied Geochemistry* 15, 551-566.
- Du Four, I., & Van Lancker, V., (2008). Changes of sedimentological patterns and morphological features due to the disposal of dredge spoil and the regeneration after cessation of the disposal activities. *Marine Geology* 255, 15-29.
- Fang, L.S., Chou, W.R. & Dong, C.D., (2013). How does marine benthic ecology is influenced by dredged sediments disposal? In: *Proceedings of the 35th Ocean Engineering Conference in Taiwan*. National Sun Yat-sen University, p. D6. November 2013.
- Folk, R.L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas. 182.
- García, M.C. & Veneziano, M.F. (2015). Análisis FPEIR sobre rompeolas y playas regeneradas en el sur de Gral. Pueyrredón, R. Argentina. *Contribuciones Científicas* 27; 93-108.
- Gualdoni, P., & Errazti, E. (2006). El puerto de Mar del Plata. *Revista FACES*, 12(26), 67-83.
- Gyssels, P., Ragessi, M., Rodríguez, A., Cardini, J., & Campos, M. (2013). Diseño de infraestructura para la protección de la erosión costera en el litoral argentino: Caso de Mar del Plata. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 13(2), 221.
- Godoy, C. E., Isla, F., & Elías, R. (2011). Macroinfaunal distribution at an organic-enriched estuarine harbour: Quequén Grande River Inlet, Argentina. *Gravel*, 9(1), 57-67.
- Hammer, O., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Heiri, O., Lotter, A.F. & Lemcke, G., (2001), Loss of ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results: *J. Paleolimnol.*, v. 25, pp. 101-110, doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A>
- Isla, F. I., & Schnack, E. J. (1986). Repoblamiento artificial de playas. Sus posibilidades de aplicación en la costa marplatense. *Asoc. Arg. Geol. Aplicada a la Ing.*, III, 202-217.
- Isla, F. I., (2001). Geología del Sudeste de Buenos Aires. En Boschi, E. (ed.) *Entre Mareas*. Mar del Plata, INIDEP, Capítulo 1, 19-28.
- Isla, F.; Denegri, G., Cermelo, L., Farias, A. & Crowder, P. (2005). Mar del Plata fragilidad costera. Editorial Martin. Mar del Plata, Argentina. 168 pp
- Isla, F.I., (2006). Erosión y defensa costeras. En: Isla, F.I and Lasta, C.A. (eds.), *Manual de Manejo costero para la Provincia de Buenos Aires*. Mar del Plata, Argentina: EUDEM, 125-147.
- Isla, F. I., (2010). Natural and artificial reefs at Mar del Plata, Argentina. *Journal of Integrated Coastal Management*, 10, 1, 81-93.
- Isla, F. I., (2015). Variaciones espaciales y temporales de la deriva litoral, SE de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica del Sur*, 5, 8, 24-41.
- Isla, F., Taglioretti, M., & Dondas, A. (2015). Revisión y nuevos aportes sobre la estratigrafía y sedimentología de los acantilados entre Mar de Cobo y Miramar, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 72(2): 235-250.

- Isla, F. I., Cortizo, L., Merlotto, A., Bértola, G., Albisetti, M. P., & Finocchietti, C. (2018). Erosion in Buenos Aires province: Coastal-management policy revisited. *Ocean & Coastal Management*, 156:107-116.
- James, W.R. (1975). Manual on artificial beach nourishment. Research codes and specifications. Rijkswaterstaat Delft Hydraulics Laboratory. Centre for Civil Engineering, 130-195 pp.
- Jolliffe, I.T., (2002). Mathematical and statistical properties of population principal components, chapter 2. En: P. Bickel, P. Diggle, S. Fienberg, K Krickeberg, I. Olkin, N. Wermuth, Y S. Zeger (eds.), *Principal Component Analysis*, Second Edition: Springer-Verlag Nueva York, NY. pp. 10-28.
- Karl, H. A., Chin, J. L., Ueber, E., Stauffer, P. H., & Hendley, J. W., (2001). Beyond the Golden Gate. *Oceanography, Geology, Biology, and Environmental Issues in the Gulf of the Farallones*. USGS Circular 1198, 78 pp
- Lagrange, A. (1993). *Mar, playas y puerto*. Ed. Fundación Bolsa de Comercio. Mar del Plata, Argentina. 551 pp.
- Lanfredi, N., W, Pousa, J.L Mazio C.A, & Dragani W.C. (1992). Wave power potential along the coast of the Province of Buenos Aires, Argentina. *Energy* 17, 997-1006
- Lasta, C. A., Ruarte, C. O., & Carozza, C. R. (2001). Flota costera argentina: antecedentes y situación actual.
- Lee, D. I., Eom, K. H., Kim, G. Y., & Baeck, G. W. (2010). Scoping the effective marine environmental assessment of dredging and ocean disposal of coastal sediments in Korea. *Marine Policy*, 34(5), 1082-1092.
- Legendre, P. & Birks, H.J.B., (2012). From classical to canonical ordination. In: Birks, H.J.B., *et al.* (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Developments in Paleoenvironmental Research* 5:pp. 201-248.
- Marcomini, S.C. Y López, R.A., (2004). Evolution of a beach nourishment project at Mar del Plata. *J. Coast. Res.* SI 39, 834-837.
- Marcomini, S.C., & López, R.A. (2006). Geomorfología costera y explotación de arena de playa en la provincia de Buenos Aires y sus consecuencias ambientales. *Revista Brasileira de geomorfología*, 7(2), 61-71.
- Martín-Fernández, J.A., Barceló-vidal, C. & Pawlowsky-Glahn, V. (1998). Measures of Difference for Compositional Data and Hierarchical Clustering Methods. En: Buccianti, A., Nardi, G. y Potenza, R., Naples (eds.) *Proceedings of the Fourth Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology* 1: 526-531.
- Merlotto, A., & Bértola, G. R. (2007). Consecuencias socio-económicas asociadas a la erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina. *Investigaciones GEOGRÁFICAS*, 2007, N° 43, P. 143-160.
- Miccio, M., & Vellenich, J. B. (2002). Diagnóstico y perspectivas turísticas del puerto de Mar del Plata. En: *V Jornadas Nacionales de Investigación-Acción en Turismo y VIII Jornadas de Interacción*.
- Mitas, L., & Mitasova, H. (1999). Spatial interpolation. *Geographical information systems: principles, techniques, management and applications*, 1(2).
- Mojica, M., Lamarchina, S., Anfuso, G., & Isla, F. (2022). Repoblamiento de playas del sur de Mar del Plata (Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 29(1), 23-41.
- Muniz, P., Venturini, N., Martins, C. C., Munshi, A. B., García-Rodríguez, F., Brugnoli, E., & García-Alonso, J. (2015). Integrated assessment of contaminants and monitoring of an urbanized temperate harbour (Montevideo, Uruguay): a 12-year comparison. *Brazilian Journal of Oceanography*, 63, 311-330.
- Mymrin, V., Stella, J. C., Scremim, C. B., Pan, R. C., Sanches, F. G., Alekseev, K., Pedroso, D. E., Molinetti, A. & Fortini, O. M. (2017). Utilization of sediments dredged from marine ports as a principal component of composite material. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4041-4049.
- Padilla, N. A., & Eraso, M. M. (2012). Conflictos en el manejo de los recursos costeros a partir de cambios en el uso del suelo de la Escollera Norte, Puerto de Mar del Plata. En: Eraso, M.M. (Ed.), *Gestores costeros II: experiencias en áreas litorales de la provincia de Buenos Aires, Argentina, Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata*, 99-113.
- Palanques, A., Guillén, J., Puig, P., & Durán, R. (2022). Effects of long-lasting massive dumping of dredged material on bottom sediment and water turbidity during port expansion works. *Ocean & Coastal Management*, 223, 106113. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106113>
- Pontrelli-Albisetti, M., Lazarow, N., García, M., Isla, F. & Piccolo, M. C. (2015). Análisis comparativo entre el Puerto de Mar del Plata, Argentina y el Río Tweed, Australia. Técnicas de bypass como estrategia para superar la obstrucción de la deriva litoral. *Revista Geográfica del Sur*, 5, 8, 42-58.
- Pujol, M. G., (2014). Ecología del caballito de mar *Hippocampus patagonicus* (Piacentino and Luzzatto, 2004) en las costas de Mar del Plata y su relación con ambientes impactados antrópicamente. Unpubl. Thesis University of Mar del Plata, Mar del Plata, 284 pp.
- QGIS (2022). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rivero, M.S., E.A. Vallarino & R. Elías, (2005). First survey in the Mar del Plata Harbor (Argentina, 38° 02´ S, 57° 30´ W), and the use of Polychaetes as potential indicators of pollution. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40 (2) (Valparaiso, Chile): 101-108.
- Rodríguez, D. & Bastida, R., (1998). Four hundred years in the history of pinniped colonies around Mar del Plata, Argentina. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 8: 721-735.

- San Martín, L., Bunicontro, M. P., Marcomini, S. C., & López, R. A. (2014). El efecto de las estructuras de defensa costera en las localidades de Mar Chiquita y Mar de Cobo, provincia de Buenos Aires. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, (33); 13-23.
- Sany, S. B. T., Salleh, A., Sulaiman, A. H., Sasekumar, A., Rezayi, M., & Tehrani, G. M. (2013). Heavy metal contamination in water and sediment of the Port Klang coastal area, Selangor, Malaysia. *Environmental earth sciences*, 69(6).
- Sheehan, C. & Harrington, J., (2012). Management of dredge material in the Republic of Ireland. A review. *Waste Management* 32, 1031-1044.
- Sunrise Technical Consultants. (1971). Estudio mediante ensayo hidráulico sobre el modelo del Puerto de Mar del Plata y sus alrededores. Harumi, Chou-Ku, Tokyo, Japón, Vol. 7.
- Van Reeuwijk, L. P. (2003). Procedimientos para análisis de suelos. Trad. al español por MC Gutiérrez Castorena, CA Tavares E. y CA Ortiz Solorio. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Van Rijn, L.C (2008). Coastal erosion problems in Mar del Plata, Argentina. Report of site visit and discussion of solutions. Report 2. Deltares, 31 pp
- Venturini N Muniz P & M Rodríguez (2004) Macrobenthic subtidal communities in relation to sediment pollution: the phylum-level meta-analysis approach in a south-eastern coastal region of South America. *Marine Biology* 144:119-126
- Villemur, J. P. (1988). La pesca marítima y su problemática. Fundación Argentina de Estudios Marítimos. Buenos Aires, 171.
- Valverde Enciso, Y. (2018). Puertos sustentables. Universidad Mayor, Santiago de Chile. 206 pp.
- Yebra, D. M., Kiil, S. & Dam-Johansen, K. (2004). Antifouling technology – past, present and future steps towards 525 efficient and environmentally friendly antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*, 50(2), 75-104.
- Yurkievich, G. J. (2013). Pesca y puerto en la ciudad de Mar del Plata: Relaciones íntimas entre una actividad económica transformada y un espacio deteriorado. *Estudios Socioterritoriales*, 14, 0-0.
- Zoumis, T., Schmidt, A., Grigorova, L. & Calmano, W., (2001). Contaminants in sediments: remobilisation and demobilization. *The Science of the Total Environment* 266, 195-202.