

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal
Zone Management

Volume 21(3): September 2021

ISSN 1646-8872



Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal
Zone Management



Volume 21, Issue 3 September 2021

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
<mpollette13@gmail.com>

Marinez Scherer
Section Editor
<marinezscherer@gmail.com>

André Fortunato
Section Editor
<afortunato@inec.pt>

Carlos Coelho
Section Editor
<ccoelho@ua.pt>

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

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

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

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

André Cardoso (APRH)

Cover design

Francisco Taveira Pinto, Paulo Rosa Santos

ISSN: 1646-8872

Revista de Gestão Costeira Integrada

Journal of Integrated Coastal Zone Management

21(3) – September 2021

Table of Contents

Editorial Note

Francisco Taveira-Pinto, Paulo Rosa-Santos e Tiago Fazeres-Ferradosa

Vulnerability and Sustainability: From the coast to the sea..... 129-133

Articles

Marcos Roberto dos Santos, Rafaela Camargo Maia

Obras de urbanização e os impactos ambientais sobre a macrofauna bentônica: estudo de caso em uma praia do litoral cearense..... 135-145

Lucia Maria de Araujo Lima Gaudencio, Rui de Oliveira, Wilson Fadlo Curi

Construction of a sustainability indicators system for offshore oil and gas production units..... 147-161

Yago Yguara Parente, Amílcar Carvalho Mendes, Artur Gustavo Oliveira de Miranda, Karina da Silva Lopes

Vulnerabilidade costeira a derrames de óleo e à inundação de uma ilha fluvio-estuarina amazônica – Ilha de Mosqueiro (Belém-Pará-Brasil)..... 163-178

Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida, Djane Fonseca da Silva, Ramon Salgueiro Cruz, Arthur Costa Falcão Tavares

Determinação da vulnerabilidade costeira em praias arenosas ao sul de Alagoas – Brasil: Subsídio para delimitação de áreas de proteção em zonas costeiras..... 179-192

Editorial note / *Nota editorial*

VULNERABILITY AND SUSTAINABILITY: FROM THE COAST TO THE SEA

Francisco Taveira-Pinto¹, Paulo Rosa-Santos¹, Tiago Fazeres-Ferradosa¹

As Europe sets the pace for global transition towards a sustainable exploitation of natural resources and a more conscious way of developing modern economies, engineering stakeholders across the world are now focusing on developing novel approaches for both design and implementation, that enhance the sustainability of present and future generations. Within these efforts, the integrated management towards sustainability of coastal zones and the marine resources in offshore locations represents a crucial aspect, in many senses directly related to the United Nations' Sustainable Development Goals (SDG) (United Nations, 2015).

With water as a common denominator among the different SDG, applied case studies and scientific research on coastal zones and marine areas becomes a decisive step towards the promotion of socio-economic levels that enhances sustainability. In this issue, the Journal of Integrated Coastal Zone Management provides a combination of studies for both beaches and offshore locations focusing on the improvement of local sustainability and assessment of vulnerability. Issue number 3 of 2021 provides continuity to the recent works published on related topics, including coastal dynamics, protection and planning (Taveira-Pinto *et al.*, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b) and anthropogenic interactions (Taveira-Pinto *et al.*, 2020c).

In coastal regions, beaches are high anthropogenic pressure spots, with an intense relationship between human activities and natural ecosystems. Thus, these regions are particularly vulnerable, which often endangers their sustainability. A good example of such vulnerability is the degradation and environmental losses that occur in the beach's profile. Addressing the environmental impacts of coastal works in the benthic macrofauna and habitat in the beach profile, Santos and Maia (2021) present and discuss the Arpoeiras Beach case study (Brazil – Ceará). During the urbanizing construction works from August 2017 to September 2018, a total of 420 samples for benthic macrofauna analysis were taken. Additional analysis was performed on the local bathymetric profiles and abiotic data. This comprehensive study showed that the beach profile between tides registered oscillations along with significant decreases in the richness and abundance of the benthic macrofauna. This highlighted the environmental impacts occurring during the construction of coastal works. Furthermore, it is shown through correlation analysis that the urbanizing works were the main cause for the decreasing richness and abundance indexes.

Still within the topic of vulnerability and sustainability of beach areas, Almeida *et al.* (2021) present a coastal vulnerability study for the sandy beaches at Alagoas' South, namely at the municipality of Barra de São Miguel (Brazil). This research determines the local vulnerability in face of the Mean Sea Level Rise and the projections available for 2100. Moreover, based on the results, the authors provide detailed suggestions of Non-Edifying Terrestrial Limits (LTNE) for an efficient protection of the landscape and dampening of wave energy, which in turn enables the strategic planning and integrated coastal zone management of the region, towards the enhancement of environmental sustainability. Almeida *et al.* (2021) analyse the coastal retrogradation by means of the Brunn's rule, which is then used to quantify the vulnerability index and to define the LTNE based on protective guidelines. The research concludes

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Grupo de Estruturas Hidráulicas e Energia do Mar

that even in an optimistic scenario, there is a shoreline recession of 9.12 m. Furthermore, the limit of 200 m is considered as a useful reference to accommodate the future impacts of Mean Sea Level Rise. It is also seen that the studied region is highly vulnerable to coastal erosion, in terms of both sediment transport and coastal retrogradation. This study is a useful benchmark case for further studies in similar regions facing the urgency of promoting vulnerability and risk mitigation approaches and policies in face of Climate Change impacts and rising anthropogenic pressure.

An appealing aspect of vulnerability index-based analysis is the flexibility to include numerous risk factors, as well as to adapt the indexes definition for different hazards. An interesting case of this broad applicability is the research provided by Parente *et al.* (2021). In this research work, this methodology is specifically applied to an oil spill and flooding risks for a fluvio-estuarine island, particularly the Mosqueiro Island located in Belém (Pará – Brazil). This study compares different vulnerability indexes, considering a standard approach which is then compared with the Oil Spill Vulnerability index. The latter is introduced for the first time in this work. The novel index includes the analysis of the Seashore Sensitivity Index, the shoreline changes, the urban infrastructure and local vegetation. The authors show that the novel approach enables for a more detailed definition of the island's vulnerability, since it distinguishes four zones with different vulnerability levels, whereas the standard approach only distinguishes two. Furthermore, it is shown that even though the vulnerability to flooding is rather small, there is a high degree of vulnerability to oil spill. This work highlights the importance of adapting coastal vulnerability analysis for site-specific hazards at a local scale.

From the coast to the sea, in the Journal of Integrated Coastal Zone Management, the sustainability of sea remote locations is also considered a crucial aspect to promote novel contributions within the scope of the journal. Growing areas of research, such as the marine energy harvesting investments (Taveira-Pinto *et al.*, 2020d) as well as the more mature applications to the oil and gas sector (Fazeres-Ferradosa *et al.*, 2019 and 2020, Oliveira-Pinto *et al.*, 2019) justify the importance of enhancing the sustainability of sea land in a broad perspective, that focus not only the coastal zones but also offshore locations. Aligned with this topic and following recent contributions given by this journal to related topics, e.g. Paiva *et al.* (2020), Gaudencio *et al.* (2021) present a system of sustainability indicators for offshore oil and gas production units, which are key drivers of social, economic and environmental impacts in world-wide economies, such as Brazil, Angola or East Timor, just to mention a few within the Portuguese Speaking Countries Community. Gaudencio *et al.* (2021) highlight that often the sustainability reports are oriented by oil and gas sector guidelines with a corporate character, that is not easily translated into the promotion of sustainable management of the activities developed in production units. Gaudencio *et al.* (2021) combine current knowledge on sustainability indicators with a survey of the relevant operation and management aspects to produce a sustainability indicators system that covers a wide perspective, which includes operational, economic, environmental and social dimensions of the production unit's sustainability. This system provides a basis for improved management and decision-making support for oil and gas production infrastructures.

The contributions compiled in the present issue correspond to an interesting and comprehensive set of applied cases on vulnerability and sustainability, which are ever-growing topics for a responsible exploitation of marine resources, thus falling into the scope of the Journal of Integrated Coastal Management.

VULNERABILIDADE E SUSTENTABILIDADE: DA COSTA PARA O MAR

Enquanto a Europa procura definir o ritmo e promover uma transição global para uma exploração mais sustentável dos recursos naturais, bem como encontrar alternativas mais conscientes para desenvolver as economias modernas, os stakeholders, em todo o mundo, concentram-se no desenvolvimento de abordagens inovadoras para dimensionamento e implementação de novas soluções, que melhorem a sustentabilidade das gerações presentes e futuras.

Dentro destes esforços, a gestão integrada para a sustentabilidade das zonas costeiras e dos recursos marinhos em locais offshore representa, em muitos sentidos, um aspeto crucial diretamente relacionado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (SDG) das Nações Unidas (Nações Unidas, 2015).

Sendo a água um denominador comum entre os diferentes SDG, os estudos de caso aplicados e a investigação científica sobre as zonas costeiras e marinhas são um passo decisivo para a promoção de níveis socioeconómicos que melhorem a sustentabilidade. Nesta edição, a *Revista de Gestão Costeira Integrada* (RGCI) apresenta um conjunto de estudos, tanto para praias como para zonas offshore, que se concentram na melhoria da sustentabilidade local e na avaliação da sua vulnerabilidade. O número 3 de 2021 dá assim continuidade aos recentes trabalhos publicados sobre temas semelhantes, incluindo dinâmica costeira, proteção e planeamento (Taveira-Pinto et al., 2020a, 2020b, 2021a, 2021b) e interações antropogénicas (Taveira-Pinto et al., 2020c).

Nas regiões costeiras, as praias são pontos de pressão antropogénica elevada, com uma relação intensa entre as atividades humanas e os ecossistemas naturais. Assim, estas regiões são particularmente vulneráveis, o que muitas vezes põe em perigo a sua sustentabilidade. Um bom exemplo desta vulnerabilidade é a degradação e as perdas ambientais que ocorrem no perfil da praia. Abordando os impactos ambientais das obras costeiras na macrofauna e nos habitats bentónicos no perfil da praia, Santos e Maia (2021) apresentam e discutem o estudo de caso da Praia de Arpoeiras (Brasil - Ceará). Durante as obras de urbanização de Agosto de 2017 a Setembro de 2018, foi recolhido um total de 420 amostras para análise da macrofauna bentónica. Foram ainda realizadas análises adicionais nos perfis batimétricos locais e nos dados abióticos. Este estudo abrangente mostrou que o perfil da praia entre marés registou oscilações, bem como diminuições significativas na riqueza e abundância da macrofauna bentónica. Estes resultados evidenciam assim os impactos ambientais ocorridos durante a construção de obras costeiras. Para além disso, foi demonstrado, por correlação, que as obras de urbanização foram a principal causa do decréscimo dos índices de riqueza e abundância.

Ainda dentro do tema da vulnerabilidade e sustentabilidade das zonas de praia, Almeida et al. (2021) apresentam um estudo de vulnerabilidade costeira para as praias arenosas do Sul de Alagoas, nomeadamente no município de Barra de São Miguel (Brasil). Este estudo determinou a vulnerabilidade local face à Subida do Nível Médio da Água do Mar e as projeções disponíveis para 2100. Além disso, com base nos resultados, os autores fornecem sugestões detalhadas dos Limites Terrestres não Edificantes (LTNE) para uma proteção eficiente da paisagem e amortecimento da energia das ondas, o que, por sua vez, permite o planeamento estratégico e a gestão integrada da zona costeira da região, com vista à melhoria da sustentabilidade ambiental. Almeida et al. (2021) analisam a retrogradação costeira através da regra de Brunn, que é depois utilizada para quantificar o índice de vulnerabilidade e para definir o LTNE, com base em diretrizes de proteção costeira. A investigação conclui que, mesmo num cenário otimista, existe uma recessão costeira de cerca de 9,12 m. Além disso, o limite de 200 m é considerado como uma referência útil para acomodar os impactos futuros da Subida do Nível Médio da Água do Mar. Observou-se também que a região estudada é altamente vulnerável à erosão costeira, tanto em termos de transporte de sedimentos como de retrogradação costeira. Este estudo é um caso de referência útil para outros em regiões semelhantes que tenham urgência em promover abordagens e políticas de mitigação da vulnerabilidade e dos riscos, face aos impactos das Alterações Climáticas e ao aumento da pressão antropogénica.

Um aspeto interessante da análise baseada em índices de vulnerabilidade é a flexibilidade para incluir diversos fatores de risco, bem como para adaptar a definição dos índices associados a diferentes perigos. Um caso interessante desta ampla aplicabilidade é a investigação realizada por Parente et al. (2021). Neste trabalho, esta metodologia é aplicada aos riscos de derrame de petróleo e de inundação de uma ilha fluvio-estuarina, nomeadamente a Ilha Mosqueiro localizada em Belém (Pará - Brasil). Este estudo compara diferentes índices de vulnerabilidade, considerando uma abordagem padrão que é depois comparada com o índice de Vulnerabilidade a Derrames de Petróleo. Este último é introduzido pela primeira vez neste trabalho. O novo índice inclui a análise do Índice de Sensibilidade Litoral, as alterações da linha de costa, as infraestruturas urbanas e a vegetação local. Os autores mostram que a nova abordagem permite uma definição mais detalhada da vulnerabilidade da ilha, uma vez que esta permitiu distinguir quatro zonas com diferentes níveis de vulnerabilidade, enquanto a abordagem padrão apenas distingue duas. Além disso, mostra-se que embora a vulnerabilidade às inundações seja bastante pequena, existe um elevado grau de vulnerabilidade ao derrame de petróleo. Este trabalho salienta a importância de adaptar a análise de vulnerabilidade costeira para perigos específicos à escala local.

Passando das zonas costeiras para o mar, a sustentabilidade de locais remotos no oceano é também considerada importante para promover novos contributos nos domínios da RGCI. Áreas de investigação em crescimento, tais como o aproveitamento de energia marinha (Taveira-Pinto et al., 2020d), bem como as aplicações mais desenvolvidas no sector do petróleo e gás (Fazeres-Ferradosa et al., 2019 e 2020, Oliveira-Pinto et al., 2019) justificam a importância de melhorar a sustentabilidade das zonas marinhas numa

perspetiva mais vasta, que se centra não só nas zonas costeiras, mas também nas zonas offshore. Alinhado com este tema e na sequência de recentes contribuições dadas por esta revista a tópicos relacionados, por exemplo Paiva et al. (2020), Gaudencio et al. (2021) apresentam um sistema de indicadores de sustentabilidade para unidades de produção de petróleo e gás offshore, que são os principais impulsionadores de impactos sociais, económicos e ambientais em economias mundiais como o Brasil, Angola ou Timor Leste, para mencionar apenas alguns dentro da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa. Gaudencio et al. (2021) sublinham que muitas vezes os relatórios de sustentabilidade são orientados por diretrizes do sector do petróleo e do gás com carácter empresarial, o que não se traduz facilmente na promoção de uma gestão sustentável das atividades desenvolvidas nas unidades de produção. Gaudencio et al. (2021) combinam os conhecimentos atuais sobre indicadores de sustentabilidade com um levantamento dos aspetos operacionais e de gestão relevantes para produzir um sistema de indicadores de sustentabilidade que abrange uma perspetiva ampla, que inclui dimensões operacionais, económicas, ambientais e sociais da sustentabilidade de cada unidade de produção. Este sistema proporciona uma base para uma melhor gestão e apoio à tomada de decisões em matéria de infraestruturas de produção de petróleo e gás.

As contribuições compiladas no presente número correspondem a um conjunto interessante e abrangente de casos aplicados sobre vulnerabilidade e sustentabilidade, que são tópicos em constante crescimento para uma exploração responsável dos recursos marinhos, enquadrando-se, portanto, no âmbito da Revista de Gestão Costeira Integrada.

REFERENCES/REFERÊNCIAS

- Almeida, H., da Silva, D., Cruz, A. (2021) Determinação da vulnerabilidade costeira em praias arenosas ao Sul de Alagoas – Brasil: subsídio para a delimitação de áreas de proteção em zonas costeiras. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 21(3), pp. 179-192. DOI: 10.5894/rgci-n388
- Fazeres-Ferradosa, T., Rosa-Santos, P., Taveira-Pinto, F., Vanem, E., Carvalho, H., Correia, J. (2019). Editorial: Advanced research on offshore structures and foundation design: Part 1. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Maritime Engineering*, 172 (4), pp. 118-123. DOI: 10.1680/jmaen.2019.172.4.118
- Fazeres-Ferradosa, T., Rosa-Santos, P., Taveira-Pinto, F., Pavlou, D., Gao, F-P., Carvalho, H., Oliveira-Pinto, S. (2020). Preface: Advanced Research on Offshore Structures and Foundation Design: Part 2. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Maritime Engineering*, 173 (4), pp. 96-99. DOI: 10.1680/jmaen.2020.173.4.96
- Gaudêncio, L., Oliveira R., Curi, W. (2021) Construction of a sustainability indicators system for offshore oil and gas production units. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 21(3), pp. 147-161. DOI: 10.5894/rgci-n353
- Oliveira-Pinto, S., Rosa-Santos, P., Taveira-Pinto, F., 2019. “Electricity supply to offshore oil and gas platforms from renewable ocean wave energy: Overview and case study analysis”. *Energy Conversion and Management*, Elsevier, Vol.186, pp. 556-569, doi: 10.1016/j.enconman.2019.02.050. ISSN: 0196-8904. 15 April 2019.
- Paiva, P.M., Junior, J.L., Calderon, E.N., Juliano, M.M.F., Molisani, M.M. (2020). Decommissioning of subsea oil and gas production pipelines: hydrodynamic modeling for preliminary assessment of sediment resuspension and burial onto benthic organisms. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 20 (3), pp. 161-168. DOI: 10.5894/RGCI-N286
- Parente, Y., Mendes, A., Miranda, A., Lopes, K. (2021) Vulnerabilidade a derrames de óleo e à inundação de uma ilha fluvio-estuarina amazônica – Ilha de Mosqueiro (Belém-Pará-Brasil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 21(3), pp. 163-178. DOI: 10.5894/rgci-n381
- Santos and Maia (2021). Obras de urbanização e os impactos ambientais sobre a macrofauna bentónica: estudo de caso em uma praia do litoral Cearense. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. 21(3), pp. 135-145. DOI: 10.5894/rgci-n348
- Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., Fazeres-Ferradosa, F. (2020a). Integrated management and planning of coastal zones in CPLP – Part 1 [Gestão e planeamento integrado das zonas costeiras da CPLP – Parte 1]. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 20 (2), pp. 85-87. DOI: 10.5894/rgci-n390
- Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., Fazeres-Ferradosa, F. (2020b). Integrated management and planning of coastal zones in CPLP – Part 2 [Gestão e planeamento integrado das zonas costeiras da CPLP – Parte 2]. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 20 (3), pp. 157-160. DOI: 10.5894/rgci-n392

- Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., Fazerres-Ferradosa, T. (2020c). Anthropogenic influences on integrated coastal zone management [Influências antropogênicas na gestão integrada da zona costeira]. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 20 (4), pp. 215-217. DOI: 10.5894/rgci-n428
- Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., Fazerres-Ferradosa, T. (2020). Marine renewable energy. *Renewable Energy*, 150, pp. 1160-1164. DOI: 10.1016/j.renene.2019.10.014
- Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., Fazerres-Ferradosa, T. (2021a). Coastal Dynamics and Protection. [Dinâmica e Proteção Costeira] *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 21 (2), pp.69-72. DOI: 10.5894/rgci-n467
- Taveira-Pinto, F., Rosa-Santos, P., Fazerres-Ferradosa, T. (2021b) Integrated coastal zone management: Preservation, adaptation and monitoring [Gestão integrada das zonas costeiras: Preservação, adaptação e monitorização]. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 21 (1), pp. 5-9. DOI: 10.5894/RGCI-N442
- United Nations (UN), 2020. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (Seen on October 8th, 2021).

OBRAS DE URBANIZAÇÃO E OS IMPACTOS AMBIENTAIS SOBRE A MACROFAUNA BENTÔNICA: ESTUDO DE CASO EM UMA PRAIA DO LITORAL CEARENSE

Marcos Roberto dos Santos^{@ 1}, Rafaela Camargo Maia²

RESUMO: As zonas costeiras sofrem constantemente com processos de degradações e perdas ambientais em decorrência das constantes intervenções antropogênicas das zonas de entremarés. Essas regiões possuem uma biota diversa e adaptada que contribuem significativamente para o aumento da biomassa animal. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi monitorar a macrofauna bentônica da faixa entremarés da Praia de Arpoeiras, Acaraú - CE, durante as obras de urbanização (Ago. 17 a Set. 18). Foram coletadas 30 amostras mensalmente, totalizando 420 amostras para análise da macrofauna. Para análise das classes texturais e do teor de matéria orgânica do sedimento foram coletadas três amostras por mês. Também foram avaliados o perfil topográfico da praia e aferidos dados abióticos. Foram identificados 3050 organismos, distribuídos nas Classes Bivalvia, Gastropoda e Scaphopoda. A praia de Arpoeiras apresentou oscilações no perfil topográfico durante o período estudado. Foram observadas diferenças significativas na riqueza, abundância, índices de diversidade e composição da macrofauna bentônica ao longo do período de amostragem. Os índices ecológicos demonstram que no início das obras (Ago. a Out. 17), a diversidade foi alta quando comparada com os meses seguintes (Shannon: 1,030; Simpson: 0,477; Equabilidade: 0,386). As análises também mostram que a riqueza e a abundância da macrofauna não apresentam correlações fortes com os fatores abióticos estudados, teor de matéria orgânica e classes texturais do sedimento, sugerindo que a obra foi o principal fator que interferiu na distribuição da macrofauna. Os dados aqui apresentados poderão servir de subsídios para elaboração de medidas mitigadoras para conservação da biodiversidade uma vez que representam o primeiro passo na avaliação dos impactos ambientais nessa zona costeira, e indicam que mais estudos são necessários para a implantação de novos empreendimentos na região.

Palavras-chave: Bioindicador, Diversidade, Malacofauna, Perfil topográfico.

ABSTRACT: Coastal areas constantly suffer from degradation processes and environmental losses due to the constant anthropogenic intervention of the intertidal zones. These regions have a diverse and adapted biota that contributes significantly to the increase in animal biomass. Accordingly, the objective of this study was to monitor the benthic macrofauna of the intertidal zone of Praia de Arpoeiras, Acaraú - CE, in Brazil, during urbanization works (Aug. 2017 to Sep. 2018). Thirty samples were collected monthly, totaling 420 samples for macrofauna analysis. For the analysis of sediment textural classes and organic matter content, three samples were collected per month. The topographic profile of the beach and abiotic data were also evaluated. A total of 3050 organisms were identified, distributed in the Classes Bivalvia, Gastropoda and Scaphopoda. Arpoeiras Beach showed fluctuations in the topographic profile during the period studied. Significant differences were observed in richness, abundance, diversity indices and composition of the benthic macrofauna throughout the sampling period. The ecological indices showed that, at the beginning of the works (Aug. to Oct. 2017), the diversity was high when compared to the following months (Shannon: 1.030; Simpson: 0.477; Equability: 0.386). The analyses also showed that richness and abundance of macrofauna were not strongly correlated with the abiotic factors studied, organic matter content and textural class, leading to the conclusion that the works were the main factor that interfered with the distribution of the macrofauna. Thus, the present study will serve as a basis for further studies that may be carried out in the region or on beaches that have been suffering from similar anthropogenic pressures, and will serve as subsidies for the preparation of mitigation measures for conservation and maintenance in these environments.

Keywords: Diversity, Malacofauna, Topographic profile.

@ Corresponding author: marcosrob20@gmail.com

1 Graduado em Ciências Biológicas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Acaraú, Ceará, Brasil.

2 Pós-doutorado em Adaptações de Animais Marinhos, Universidade de Vigo, Espanha, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Acaraú, Ceará, Brasil. E-mail: rafaelamaia@ifce.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O aumento das atividades sociais e econômicas que se desenvolvem nas zonas costeiras resultam em processos de degradação, com perdas ambientais significativas, o que aponta para a necessidade premente de ordenamento dessas regiões (Farinaccio e Tessler, 2010). Um dos fatores que contribuem para essa degradação é a ocupação de áreas costeiras, que promove alteração do meio físico, principalmente quando interfere na dinâmica dos processos sedimentares ao longo da costa (Aquino *et al.*, 2013).

A região entremarés de uma praia arenosa tem como principal característica biológica a presença de uma diversa e adaptada biota (Martinelli-Filho *et al.*, 2014), que permite o equilíbrio ambiental e o fornecimento de bens e serviços ecológicos exclusivos e relevantes, como a biodiversidade exclusiva dessas regiões, que não é disponibilizada por outros ecossistemas (Calliari, 2003). A distribuição e a diversidade de organismos nestas áreas são determinadas por fatores físicos, destacando-se dentre estes a ação das ondas, o tamanho das partículas de sedimento e a declividade da praia (Calliari, 2003).

Segundo Vieira *et al.* (2012), o distúrbio proveniente das atividades recreativas, pisoteio e ocupações imobiliárias afetam os atributos ecológicos da comunidade macrobentônica, com a redução do número de espécies e abundância total de organismos. Assim, estes animais funcionam como bioindicadores, indicando os níveis de perturbações ambientais pelo declínio da riqueza de espécies, pelo aumento na abundância de alguns táxons, pela mudança na composição da comunidade ou por alterações morfológicas (REBOUÇAS *et al.*, 2016).

A praia de Arpoeiras é uma região arenosa estuarina e devido sua proximidade com o rio Acaraú, recebe grandes quantidades de águas e sedimentos oriundos desse ecossistema. A praia sofreu uma intervenção urbana que consistiu na pavimentação com concreto próximo à linha da costa para conter o avanço do mar, incluindo a construção de barracas de praia, estacionamento e banheiros; uma obra promovida pelo Governo do estado do Ceará por meio da Secretaria de Turismo, autorizada pela licença de Nº 51.506, que tinha como prazo de conclusão 240 dias. Essa obra poderá descaracterizar e interferir no perfil praial, assim como na dinâmica natural do ambiente, afetando diretamente a macrofauna bentônica.

Desta forma, os objetivos deste estudo foram i) Monitorar a macrofauna bentônica da faixa entremarés da Praia de

Arpoeiras ao longo das obras de urbanização; ii) Caracterizar a comunidade da macrofauna bentônica da praia de Arpoeiras em Acaraú, avaliando a composição, riqueza, abundância, e a equabilidade das espécies ao longo do período da obra da praia; iii) Verificar a morfodinâmica da praia de Arpoeiras ao longo do processo de urbanização; iv) Avaliar o efeito do sedimento e fatores abióticos sobre a macrofauna bentônica da praia de Arpoeiras.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na praia de Arpoeiras, localizada no município de Acaraú, no litoral norte cearense (2°49'55.9"S 40°05'08.6"W). A região possui clima predominantemente tropical, com temperatura média de 27°C, e precipitação acumulada anual de 1139.7 mm (Funceme, 2018).

Apesar do prazo estabelecido pelo órgão executor para conclusão da obra ser de 240 dias (8 meses), a amostragem durou 14 meses (Ago. 17 a Set. 18), e foi realizada durante todo período que ocorreram as obras estruturais, que modificaram a estrutura física da praia, como pode ser observado na "Figura 1 no SI-I".

2.2 Coleta de dados

Para a coleta das amostras foram demarcados dez transectos perpendiculares à linha d'água entre os níveis máximo e mínimo das marés de sizígia. Os mesmos foram separados entre si por 1 m de distância. Posteriormente, foram selecionados, por meio de sorteio, três transectos entre os dez demarcados, nos quais foram coletadas dez amostras equidistantes ao longo do perfil. O primeiro ponto de coleta estava situado na linha d'água e o último, no ponto máximo atingido pela maré alta de sizígia.

As amostras foram obtidas por meio de um amostrador (corer) de PVC cilíndrico com 10 cm de diâmetro, o qual foi configurado para 10 cm de profundidade. As amostras foram lavadas em malha (0,5 mm de abertura) e armazenadas em sacos plásticos e identificados. O método utilizado foi adaptado de acordo com o Protocolo para praias arenosas da Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros (Rebentos) (Rosa-Filho, *et al.*, 2015).

Após os procedimentos de coleta, as amostras foram fixadas em formol 10%, e posteriormente foram triadas em laboratório. Os organismos encontrados foram conservados em álcool 70%,

e posteriormente, identificados com auxílio de microscópio estereoscópico (lupa) e bibliografia especializada. Durante todo processo amostral, foram aferidos os valores dos dados abióticos (Salinidade e temperatura), com o auxílio dos aparelhos termohigrômetro e o refratômetro.

Para avaliar o perfil topográfico da praia, foi utilizada a estrutura de vasos comunicantes, que consiste em um tubo estreito flexível de borracha de 2 m de comprimento, fixado com auxílio de fitas adesivas em duas réguas. Utilizando o método das balizas proposto por Emery (1961), as medições dos perfis foram feitas perpendiculares à linha de praia, começando do nível médio das ondas, indo até o limite interno da praia, para registrar a topografia da praia no momento da observação. As coletas de dados foram realizadas mensalmente, sempre nas mesmas condições de maré (maré baixa de quadratura). A partir destas medidas foi calculado o nível de declividade da praia.

Para a análise granulométrica e teor de matéria orgânica, foram coletadas mensalmente, em cada perfil, uma amostra de sedimento perfazendo um total de três amostras por coleta, sendo assim, foram analisadas um total de 42 amostras de sedimento. A análise granulométrica foi realizada pela técnica de peneiramento (Suguio, 1973).

2.3 Análise estatística

Para avaliar a diversidade da macrofauna bentônica dos pontos amostrados, foi utilizado o índice de Simpson, o índice de Equabilidade de Pielou e o índice de Shannon calculados no programa PAST versão 2.17c. A riqueza de espécies e a abundância de organismos da macrofauna bentônica encontradas no sedimento durante os meses foram avaliadas por meio de uma Análise de Variância (Anova). Quando detectadas diferenças entre as médias, ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$), o teste de comparações múltiplas de Turkey foi utilizado. Estas análises foram realizadas utilizando o programa STATISTICA for windows® versão 7.0.

O padrão de variação durante os meses de amostragem na estrutura das comunidades da macrofauna benthica foi avaliado com análise de agrupamento (Cluster com o método *complete linkage*), a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis, usando o programa PRIMER v6 (*Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research*). Nessas análises foram considerados os valores de densidade relativa das espécies da macrofauna bentônica.

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização da praia

A extensão da zona de entremarés da praia de Arpoeiras apresentou oscilações em seu perfil topográfico durante o período estudado, a altura variou entre 0.5 m a -1.5 m “Figura 2 no SI-I”. Nos meses iniciais, a declividade da faixa de praia foi bastante acentuada e manteve-se constante, sendo observado o maior desnível no mês de agosto de 2017, apresentando -1.5 m de declinação. Nos meses seguintes ocorreram pequenas variações (até 0.5 m), apresentando diminuição do desnível praial, com tendência para o perfil mais plano.

3.2 Caracterização da macrofauna bentônica

Foram encontrados um total de 3050 organismos, todos do Filo Mollusca, distribuídos nas Classes Bivalvia, Gastropoda e Scaphopoda. Dentro da Classe Gastropoda foram encontradas 25 espécies, representando 87% do total de indivíduos. Já na Classe Bivalvia foram encontradas três espécies com uma ocorrência de 10% dos indivíduos. Para a Classe Scaphopoda foi encontrada apenas uma espécie que representa 3% do total.

Na Classe Gastropoda, as espécies mais abundantes foram *Olivella minuta* (Link, 1807), com 2066 organismos e *Neritina virginea* (Linnaeus, 1758) com 555 exemplares. Na Classe Bivalvia, foram encontradas as espécies *Anomalocardia flexuosa* (Gmelin, 1791), *Oudardia sandix* (Boss, 1968) e *Donax gemmula* J. P. E. Morrisson, 1971, com respectivamente 19, 9 e 1 indivíduos. A classe Scaphopoda foi representada pela espécie *Paradentalium disparile* (D'orbigny, 1853) com 4 exemplares.

Os índices ecológicos adotados neste estudo para demonstrar a diversidade da macrofauna bentônica da praia de Arpoeiras indicam que há diferenças na diversidade entre os meses de estudos. No início das obras (Ago. a Out. 17), a diversidade era maior quando comparada com os meses seguintes de amostragem. Observou-se que de Novembro/17 a Abril/18, os valores da diversidade começaram a declinar. Porém nos meses finais das obras (Maio a Set. 18), os valores da diversidade começaram a aumentar gradativamente, chegando a ultrapassar os valores observados nos meses iniciais de amostragem (Tabela 1).

Os valores de abundância de organismos ($F_{13, 28} = 17.912$, $p < 0.000001$) e riqueza de espécies ($F_{13, 28} = 9.1412$, $p < 0.000001$) apresentaram diferenças significativas na composição da macrofauna bentônica entre os meses de

estudo (Figura 3). Valores elevados de abundância e riqueza de organismos foram observados no início das obras (Ago. 17 a Jan. 18) quando comparados com os meses seguintes (Jan. a Jul. 18), quando os valores tenderam a declinar. No entanto, em Agosto e Setembro/18 (final da obra), os valores tiveram uma tendência de aumento gradativo na quantidade e na riqueza específica e consequentemente, na biodiversidade.

Tabela 1. Índices de diversidade da macrofauna bentônica encontrados durante o período de estudo (Ago. 17 a Set. 18), na praia de Arpoeiros Acaraú, Ceará.

	Shannon	Simpson	Equabilidade
Ago/17	1,249	0,5634	0,3982
Set/17	0,9127	0,4591	0,3673
Out/17	1,392	0,6128	0,4912
Nov/17	0,8502	0,3908	0,3315
Dez/17	0,7462	0,357	0,3396
Jan/18	0,6965	0,3019	0,317
Fev/18	0,8204	0,4005	0,4216
Mar/18	0,7507	0,383	0,419
Abr/18	0,8756	0,4261	0,5441
Mai/18	1,022	0,533	0,5703
Jun/18	1,291	0,5559	0,5606
Jul/18	0,8125	0,3911	0,5048
Ago/18	1,304	0,5891	0,6702
Set/18	1,366	0,5564	0,5044

Através da Análise de Agrupamento entre as áreas de estudo foi possível observar a formação de três grupos com relação à estrutura da comunidade. A análise de agrupamento demonstrou uma baixa similaridade entre os meses de estudo (Figura 4). Os grupos foram formados a partir do grau de similaridade entre as comunidades faunísticas encontrados em cada mês. O Grupo 1 (Ago. Set. Out. Nov. Dez. 17 e Jan. 18) apresentou similaridade de 30% sendo formado principalmente por meses de amostragem no início da obra. O Grupo 2 (Mar. Fev. e Set. 18) obteve semelhança de 50%, abrangendo meses intermediários e o mês de último mês de amostragem, da obra de urbanização. No Grupo 3 (Abr. Maio. Jun. Jul. e Ago. 18), a análise de agrupamento apontou a maior taxa de similaridade 60%, constituído por meses intermediários e finais da obra de urbanização.

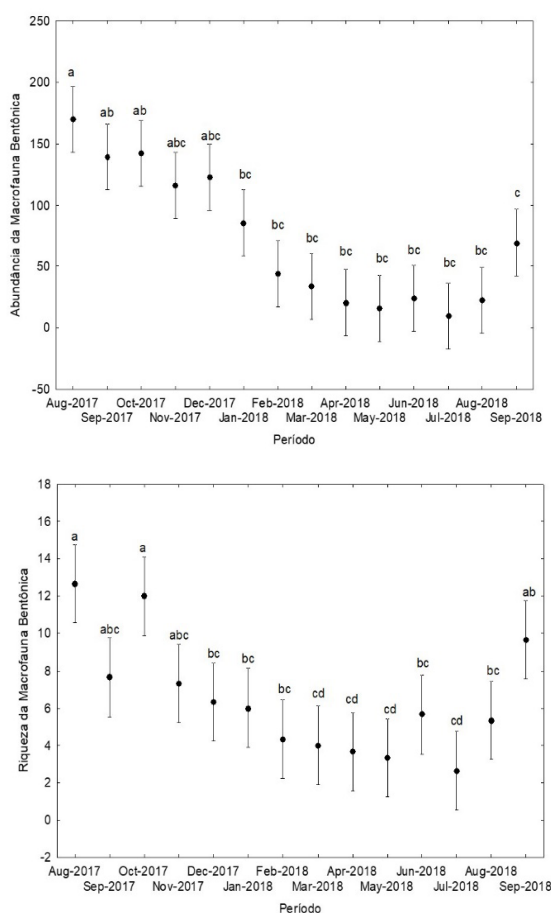


Figura 3. Média + desvio-padrão da abundância de organismos e riqueza de espécies, durante o período de estudo (Ago. 17 a Set. 18), na praia de Arpoeiros Acaraú Ceará. Letras distintas indicam diferenças significativas de acordo com o teste de comparações múltiplas de Tukey.

3.3 Correlação da riqueza de espécies e abundância de organismos com sedimento e dados abióticos

A temperatura aferida durante o monitoramento apresentou valores médios de $30.67 \pm 3.05^\circ\text{C}$. Já a salinidade, variou de $41.55^\circ \pm 5.73\%$. O teor de matéria orgânica apresentou valores médios de $3.96 \pm 1.16\%$. A análise de sedimento revelou que a praia de Arpoeiros é composta por duas classes texturais sendo cascalho e areia. Entretanto, os resultados da Análise de Correlação não indicaram correlações fortes e significativas (coeficiente de correlação: $r \leq 0.3$) entre os fatores abióticos (temperatura, salinidade, tamanho do grão e teor de matéria orgânica) e bióticos avaliados (riqueza e abundância).

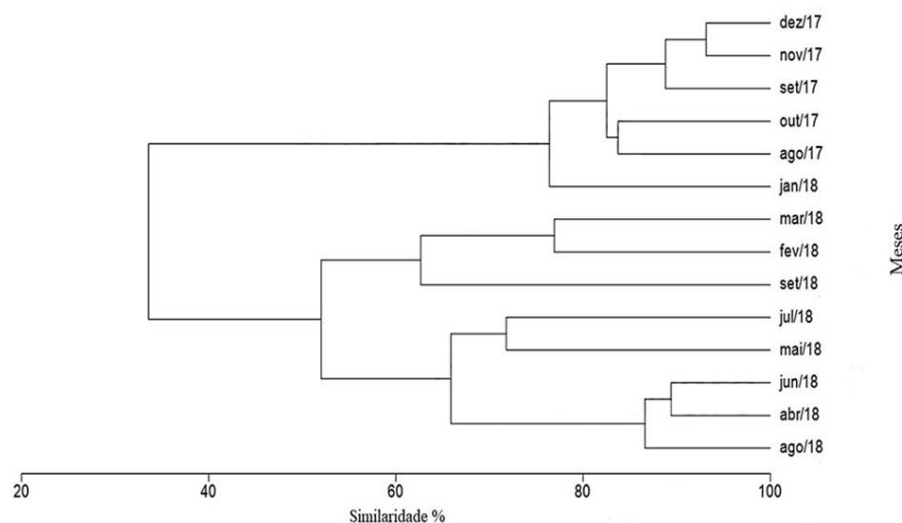


Figura 4. Dendrograma do período amostral (Ago. 17 a Set. 18), na praia de Arpoeiras Acaraú-CE, avaliado com análise de agrupamento (cluster com complete linkage) a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis, considerando os valores de abundância dos organismos encontrados.

4. DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que a praia de Arpoeiras sofreu modificações no perfil topográfico durante o período de estudo, possivelmente em resposta a modificação no fluxo de água e sedimento provocado pela construção civil da obra de urbanização na linha de preamar. Assim, no início da obra, a declividade era maior e foi observada uma maior diversidade de organismos, no entanto, nos meses seguintes a declividade da praia diminuiu e houve redução na diversidade dos organismos.

Resultado semelhante foi registrado por Viana (2008), estudando a estrutura de molhes, que são constituídos por dois quebra-mares que avançam em direção ao mar, na Praia do Cassino, e que provocaram características geomorfológicas distintas em relação ao restante da praia, como, por exemplo, o acúmulo de um sedimento mais fino junto ao molhe. Neves e Muehe (2008) classifica essa região da Praia do Cassino como impactada devido ao efeito que essa estrutura exerce sobre a Praia.

Esses resultados corroboram também com Matuella (2005), que estudando a macrofauna de praias estuarinas, no Paraná, demonstrou que aquelas com uma maior declividade apresentaram maior riqueza de espécies, do que as praias com maior declínio. Já Degraer *et al.* (2003) propôs que em

ambientes de praias arenosas a composição das espécies se modifica e a abundância ao longo da costa tende a diminuir com o aumento da declividade e tamanho do grão nas praias, assim como com a diminuição da amplitude de maré.

Entretanto, os resultados dos índices de diversidade da macrofauna também mostram um aumento ao final do período amostral, com valores superando o início da obra. Estudos indicam que a diversidade biológica pode aumentar após perturbações ou distúrbios no ambiente devido a ocupação dos nichos que foram deixados vagos por organismos que morreram ou emigraram durante o evento (Tanaka e Magalhães, 2002; Almeida *et al.*, 2008). Cabe ressaltar também que a diversidade pode ser maior em um dado ambiente quando os distúrbios que ali incidem são classificados como intermediários em uma escala de frequência e intensidade (Connel, 1978). Assim, é possível que o início da obra represente a estabilidade do habitat, contrastando com sua execução, quando observamos os valores mais baixos de diversidade da macrofauna, seguido de um posterior aumento, já ao final, representando um distúrbio intermediário, visto que o acesso de maquinário e pessoal é reduzido.

Os resultados também revelam que a composição da macrofauna bentônica da praia de Arpoeiras é constituída pelas Classes Bivalvia, Gastropoda e Scaphopoda, e que apresentaram

variações na distribuição ao longo do período estudado. De acordo com Viana *et al.* (2005), a macrofauna de praias arenosas inclui a grande maioria dos taxos de invertebrados, com destaque especial para moluscos, crustáceos e poliquetas. Os dados do presente estudo são semelhantes dos encontrados por Rodrigues *et al.* (2013), na região do rio Apodi/Mossoró, onde o Filo Mollusca teve maior dominância, devido a composição do sedimento arenoso, isso nos permite inferir que o Filo tem preferência por essa classe textural, com destaque para as espécies *Olivella minuta*, *Hastula cinerea*, *Donax striatus* e *Anomalocardia flexuosa*.

Com relação a riqueza e abundância, Pinotti *et al.* (2014) mostraram que praias urbanizadas do Rio de Janeiro possuem macrofauna com menor riqueza e abundância do que aquelas não urbanizadas. Viana *et al.* (2005) registrou a ausência do anfípoda *Bathyporeia* sp. em uma praia urbanizada, quando comparada a outra praia pouco frequentada no litoral oeste do Ceará, concluindo que praias com urbanização sofrem impacto e perdas na biodiversidade. Viana (2008) constatou que a ausência do poliqueta *Euzonus furciferus*, na praia do Cassino foi influenciada pelo impacto causado pela estrutura de molhes ao longo da costa, revelando que os fatores abióticos não foram responsáveis pela distribuição do organismo, mas apesar de serem considerados determinantes na distribuição dos bentos. Almeida (2005) observou no seu estudo em praias do Rio de Janeiro que a macrofauna bentônica de uma praia urbanizada que sofre com distúrbios antrópicos, como a urbanização, turismo, pisoteio, é relativamente baixa, e apresenta pouca similaridade, quando comparada com uma praia não urbanizada na mesma região. Assim, é possível que a baixa ocorrência de táxons e a dominância do Filo Mollusca na Praia de Arpoeiras seja reflexo do processo da obra de urbanização.

A ocorrência e a distribuição dos organismos da macrofauna bentônica também são frequentemente correlacionadas às características sedimentares, salinidade, teor de oxigênio e temperatura, que influenciam diretamente na riqueza e abundância das associações macro bentônicas (Byers e Grabowski, 2014). Apesar de Viana *et al.* (2005) revelarem que a temperatura é considerada determinante na distribuição dos organismos bentônicos da macrofauna na zona entremarés, esse fator não mostrou correlação significativa com a riqueza e abundância das espécies no presente estudo uma vez que não apresentou variações durante os meses de amostragem.

Segundo Veloso *et al.* (2003), o tamanho do grão está relacionado com características físicas que influenciam na

estrutura das comunidades. Para Lepka (2008), a macrofauna de praias arenosas apresenta maior abundância de organismos, quando possuem valores elevados de matéria orgânica. De acordo com Funo *et al.* (2015), o fator abiótico salinidade influencia fortemente o crescimento e a sobrevivência de espécies de moluscos durante distintas fases do seu ciclo de vida. Apesar disso, os resultados apresentados indicam que os fatores abióticos não foram determinantes na ocorrência dos organismos na praia de Arpoeiras indicando que fatores externos podem ser os principais responsáveis pela distribuição da macrofauna bentônica. Isso porque distúrbios ou alterações ambientais podem refletir por meio dos descritores de estrutura da comunidade, resultando em variações de densidade, riqueza e na composição de espécies sob curtos períodos e em pequenas escalas espaciais (Clarke e Warwick, 2001).

Assim, os resultados apresentados no presente estudo indicam que a obra interferiu na estrutura da comunidade faunística durante o período de amostragem, principalmente ocasionado por danos mecânicos através do uso de maquinários e danos físicos feitos pelo incremento de areia oriunda de outros ambientes, e cascalho de materiais de construção, isso pode ter causado inicialmente o sufocamento da fauna presente nesse ambiente. Esses resultados são corroborados pela análise de similaridade que mostrou a formação de grupos distintos com baixa similaridade durante o período do levantamento amostral.

Dados sobre estrutura, distribuição, densidade e avaliação espaço-temporal das comunidades bentônicas são importantes para o manejo de obras nas zonas costeiras. Assim, o presente estudo servirá de base para posteriores estudos que venham a ser realizados na região ou em praias que apresentem condições ambientais semelhantes, além servir como um catálogo das espécies que foram registradas, e subsídios para elaboração de medidas mitigadoras para conservação e manutenção desses ambientes. Sugere-se também um monitoramento a longo prazo na região.

5. CONCLUSÕES

A macrofauna bentônica da praia de Arpoeiras apresentou baixa ocorrência de táxons, sendo constituída somente pelo Filo Mollusca.

O perfil topográfico da praia de Arpoeiras foi alterado em resposta à modificação no fluxo de água e sedimento provocado pelas obras de construção civil na linha de preamar afetando a distribuição dos organismos entre os meses, pois à medida que a declividade do

perfil topográfico da praia aumentava à quantidade de organismos também aumentava. Ao final do período de construção civil, os valores de diversidade voltam a subir pela ocupação dos nichos vagos e heterogeneidade do habitat.

Os fatores abióticos, a matéria orgânica e as classes texturais não apresentaram relação com a presença dos organismos no local, levando a concluir que a obra de revitalização da praia de Arpoeiras foi o fator determinante que interferiu na diversidade dos organismos.

REFERÊNCIAS

- Almeida, L. R.; Guimaraens, M. A.; Luz, B. R. A.; Porto Neto, F. F. (2008) - Interação entre processos de colonização e sucessão ecológica de comunidades bioincrustantes na praia de piedade. *Tropical Oceanography*, v. 36, n. 1-2, p. 40-46.
- Aquino, M. C. (2013) - Percepções ambientais e suas implicações na erosão costeira: litoral da aponga e águas belas - Ceará- Br. *Cadernos Camilliani*, v. 14, n. 3, p. 354-369. ISSN: 1518-0395. Disponível online em <http://www.saocamillo.es.br/revista/index.php/cadernoscamilliani/issue/view/28>.
- Byers, J.; Grabowski, J. (2014) - Soft-sediment communities. *Marine Community Ecology*. 227-249. University of Georgia https://www.researchgate.net/publication/285797488_Soft-sediment_communities.
- Calliari, L. J. (2003) - Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Rev. bras. oceanogr.* Rio Grande do Sul. v.51. n.1, p.63-78. DOI: 10.1590/S1413-77392003000100007.
- Connell, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, v. 199, p. 1302-1310.
- Clarke, K. R., Warwick, R. M. (2001) - *Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Plymouth: PRIMER-E. University of New England. V. 2, n. 2, < Disponível online em https://www.researchgate.net/profile/Aimeric_Blaud/post/Why_do_I_obtain_different_results_for_MDS_and_PERMANOVA_in_PRIMER/attachment/59d634fbc49f478072ea31a9/AS:273659543916545@1442256927663/download/PRIMER-E.pdf.
- Chagas, P. F. (2000) - *Influência da Estrutura Portuária sobre os Processos Hidrodinâmicos na Região Costeira do Pecém*. Fortaleza. 68 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. Não publicado.
- Degraer, S.; Volckaert, A.; Vincx, M. (2003) - Macrobenthic zonation patterns along a morphodynamical continuum of macrotidal, low tide bar/rip and ultra-dissipative sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Bélgica. v. 56, n. 3-4, p. 459-468 DOI: 10.1016/S0272-7714(02)00195-6.
- Emery K.O. 1961. A Simple Method of Measuring Beach Profiles. *Limnology and Oceanographic*, v. 6, p. 90-93.
- Farinaccio, A. (2005) - *Impactos na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas em no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas*. 229p. Tese (Doutorado). Programa de Oceanografia Química e Geológica, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo. Não publicado.
- Farinaccio, A.; Tessler G., M. (2010) Avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrentes de Obras de Engenharia Costeira-Uma Proposta Metodológica. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, E-ISSN: 1646-8872. São Paulo, Disponível online < http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-210_Farinaccio.pdf.
- Filet, M. et al. Gerenciamento costeiro e os estudos do Quaternário no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Pesquisas em Geociências*, São Paulo. v. 28. n.2, p. 475- 486. ISSN 1518-2398. Disponível online <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20321/pdf>.
- Rosa, L. C.; Borzone, C. A. (2008) - Uma abordagem morfodinâmica na caracterização física das praias estuarinas da Baía de Paranaguá, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. 38(2): 237-245. ISSN: 0375-7536. Disponível online em <http://papeo.igc.usp.br/index.php/rbg/issue/view/655>.
- Freitas, M.A.P. (2006) - *Zona Costeira e Meio Ambiente: Aspectos Jurídicos*. 2ª ed. Curitiba. Juruá. 232p. ISBN: 853620972-0.
- Fuceme, *Fundação cearense de meteorologia e recursos hídricos*, (2018) - Disponível online em: <http://www.funceme.br>.
- Funo, et al. (2015) - Influência da salinidade sobre a sobrevivência e crescimento de *crassostrea gasar*. *Bol. Inst. Pesca*, São Paulo, v. 41. n. 4, p. 837 - 847. ISSN 1678-2305. Disponível online em <https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/1076>.
- Governo do Estado do Ceará. (2004) - *Avaliação ambiental estratégica - AAE do complexo industrial - portuário do pecém - CIPP e área de influência*. Fortaleza, Disponível online em <http://salasituacional.fortaleza.ce.gov.br:8081/acervo/documentById?id=8cd50490-040a-4f32-9f65-1388d35e88f6>.
- Kennedy, D. (2002) - Estuarine beach morphology in microtidal Middle Harbour, Sidney. *Australian Geographical Studies*, Nova Zelândia. v.2, n. 40, p. 231-240. DOI: 10.1111/1467-8470.00176.
- Lepka, D. L. (2008) - *Macrofauna de praias arenosas com diferentes graus de morfodinamismo no parque estadual da ilha do cardoso, SP, Brasil*. 75 p. Dissertação (Mestre em Ciências Biológicas na área de Zoologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. Não publicado.
- Lercari, D.; Defeo, O. (2003) - Variation of a sandy beach macrobenthic community along a human-induced environmental gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Uruguai. v.58, n.5, p. 17-24. DOI: 10.1016/S0272-7714(03)00043-X.

- Martinelli Filho *et al.* (2014) - Host selection, host-use pattern and competition in *Dissodactylus crinitichelis* and *Clypeasterophilus stebbingi* (Brachyura: Pinnotheridae). *Symbiosis*. DOI: 10.1007/s11230-014-9505-4.
- Matthews-Cascon, H., Cruz Lotufo T. M. (2006). *Biota marinha da costa oeste do Ceará*. 24 ed. Brasília. Ministério do Meio Ambiente, 248p. Brasília. ISBN 85-7738-036-X.
- Matuella, B. A. (2005). *Comparação da macrofauna bentônica em duas praias estuarinas do complexo da baía de paranaguá, com e sem formação de planície de maré*. 98f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. Não publicado.
- Nalesso, R.C. *et al.* (2005) - Soft-bottom macrobenthic communities of the Vitoria Bay Estuarine System, South-Eastern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, São Paulo. v.53, n.2, p. 23-38. ISSN 1679-8759. EISSN 1982-436X. Disponível online em: <http://www.revistas.usp.br/bjoc/article/view/38418/41263>.
- Neves C. F.; Muehe D. (2008) - Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias estratégicas Brasília, Brasília*. v. 9, n. 27. ISSN: 2176-9729. Disponível online em http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/325/319.
- Neves, L. P *et al.* (2012) - Distribuição horizontal da macrofauna bentônica na praia do Cassino, extremo sul do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, Porto Alegre, v. 3. n. 102, p. 245-253. ISSN 1678-4766. Disponível online em <http://www.scielo.br/pdf/isz/v102n3/v102n3a01.pdf>.
- Peterson, C. H.; Bishop, M. J. (2005) - Assessing the Environmental Impacts of Beach Nourishment. *BioScience*, V. 55, N. 10, p. 887-896. DOI: 10.1641/0006-3568.
- Pinotti, R. M. *et al.* (2014) - A review on macrobenthic trophic relationships along subtropical sandy shores in southernmost Brazil. *Biota Neotropica*. Rio Grande. v. 14, n. 3. DOI: 10.1590/1676-06032014006914.
- Rebouças, L. O. S. *et al.* (2016) - Variação espaço-temporal da malacofauna de uma praia do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, Sergipe. v. 5, n. 2, p. 25-32. ISSN 2357-8068. Disponível online em <https://docplayer.com.br/55944133-Variacao-espaco-temporal-da-malacofauna-de-uma-praia-do-rio-grande-do-norte-nordeste-do-brasil.html>.
- Rodrigues, A.M.L. *et al.* (2013) - Population structure of the bivalve *Anomalocardia brasiliana*, (Gmelin, 1791) in the semi-arid estuarine region of northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology = Revista Brasileira de Biologia*, São Carlos. v. 73, n. 4. ISSN 1519-6984. Disponível online em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842013000400819.
- Rohr, T. E.; Almeida, T.C.M. (2006) - Anelídeos poliquetas da plataforma continental externa ao largo do estado de santa catarina-brasil: situação de verão e inverno. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* Itajaí. v.10, n.1, p. 41-50. DOI: 10.14210/bjast.v10n1.p41-50.
- Rosa-Filho, J. S. *et al.* Monitoramento de Longo Prazo da Macrofauna de Praias Arenosas. In: Alexander Turra e Márcia Regina Denadai. *Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros - Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros - ReBentos* 1.ed. São Paulo-SP: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Cap: 11, 2015. 134-146p. <http://books.scielo.org/id/x49kz/pdf/turra-9788598729251.pdf> acesso em: 20 set.2019.
- Santos, E. R.; Maia, R. C. (2017) - *Efeito do pisoteio antrópico sobre a macrofauna bentônica no parque nacional de Jericoacoara Ceará*. 22 f, Artigo apresentado na Pós-Graduação em meio ambiente e desenvolvimento regional. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia- Campus Acaraú. Acaraú. Não publicado.
- Suguio, K., *Introdução a sedimentologia*: Edgard Blucher, São Paulo, 1973.
- Tanaka, M. O.; Magalhães, C. A., Edge effects and succession dynamics in Brachidontes mussel beds. *Marine Ecology Progress Series*, v. 237, p. 151-158, 2002.
- Vasconcelos B. A. (2018) - *Polyplacophora (mollusca) nos recifes areníticos da boca da barra, itamaracá - pe, Brasil*. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife, BR-PE. Não publicado.
- Veloso, V. G.; Caetano.; C. H. S. Cardoso, R. S. (2003) - Composition, structure and zonation of intertidal macroinfauna in relation to physical factors in microtidal sandy beaches in Rio de Janeiro state. *Scientia Marina*, Brazil, v. 67, n. 4, p. 393-402. DOI: 10.3989/scimar.2003.67n4.
- Viana, M. G. (2008) - *Avaliação dos efeitos antrópicos sobre a distribuição do poliqueta Euzonus furciferus (Ehlers, 1897) na praia do Cassino - RS, Brasil*. 2008. 120 f. Dissertação de mestrado. (Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande). Não publicado.
- Viana, M. G.; Rocha-Barreira, C. A.; Hijo, C. A. G. (2005) - Macrofauna bentônica da faixa entremarés e zona de arebentação da praia de Paracurú (Ceará - Brasil). *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, Curitiba, v.9. n.1, p. 75-82. DOI: 10.14210/bjast.2005v9n1.
- Vieira, J. V; Borzone, C. A; Lorenzi, L; Grecco, F. C. (2012). Human impact on the benthic macrofauna of two beach environments with different morphodynamic characteristics in southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 60, p. 137-150.

SUPPORTING INFORMATION I

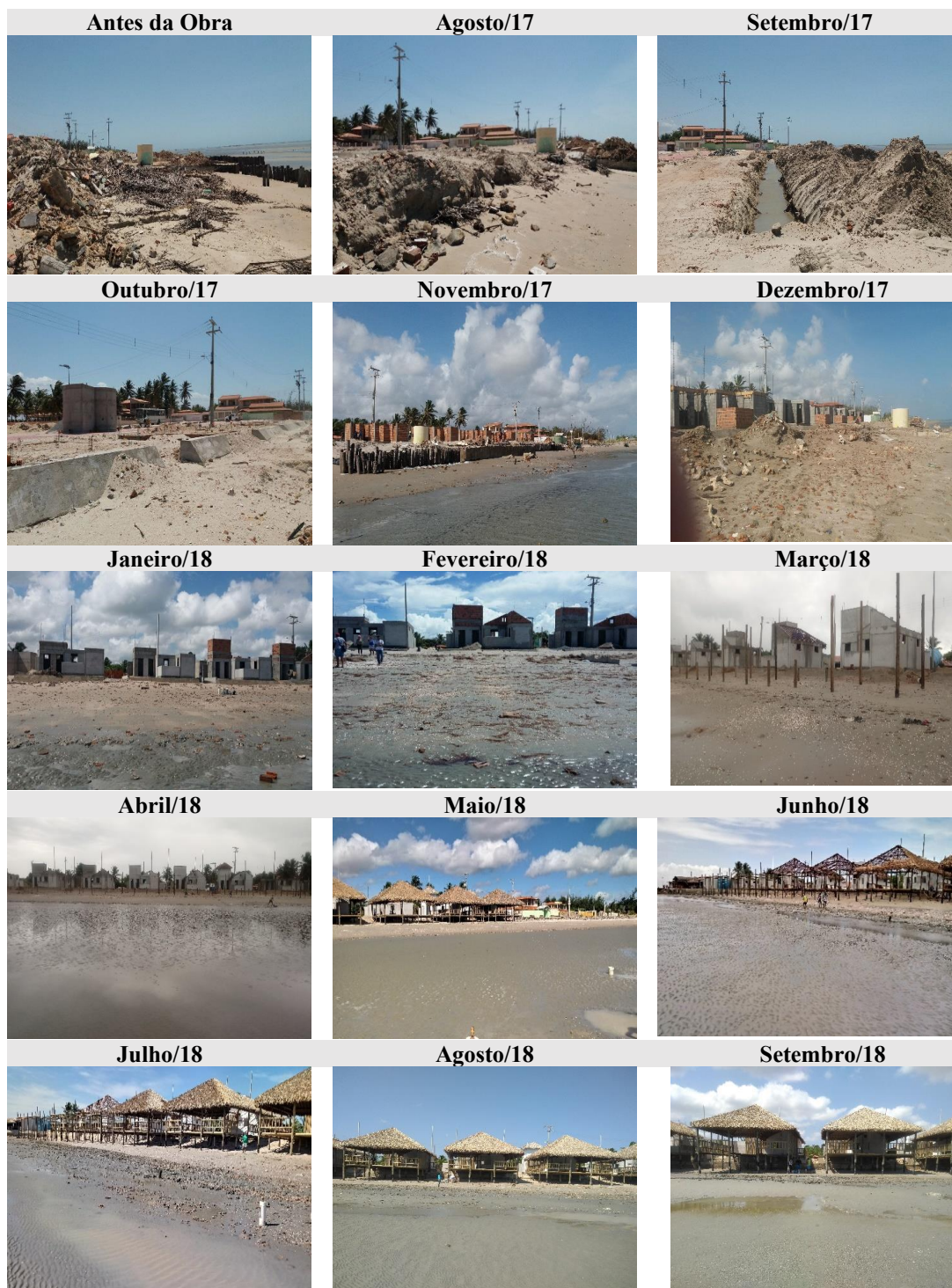


Figura 1 no SI-I – Fotos mensais da praia de Arpoeiras durante as obras de urbanização da Secretaria de Turismo do Governo do Estado do Ceará.

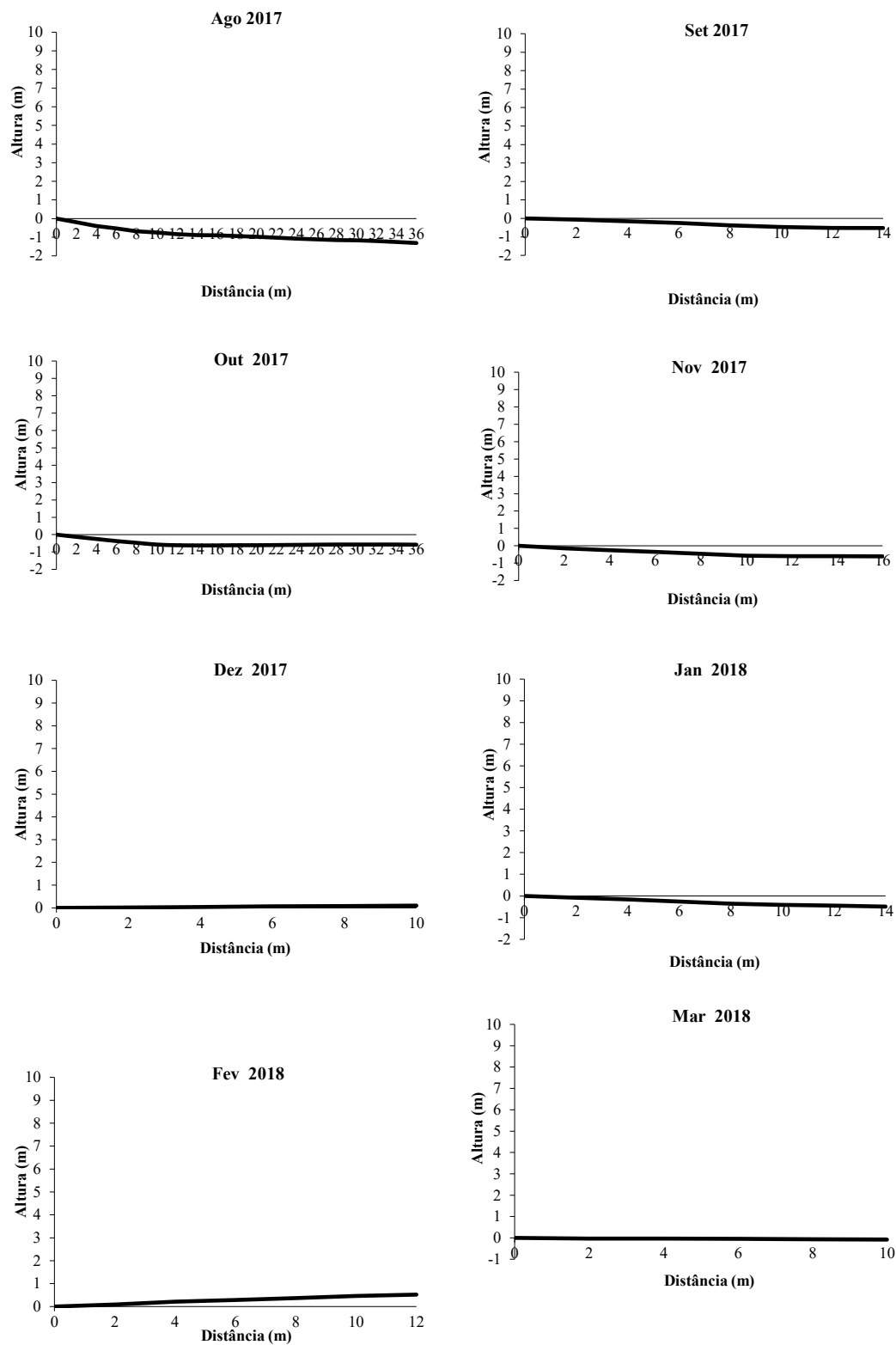


Figura 2 no SI-I – Perfil praias de Arpoeiras durante o período de estudo (agosto/2017 a setembro/2018).

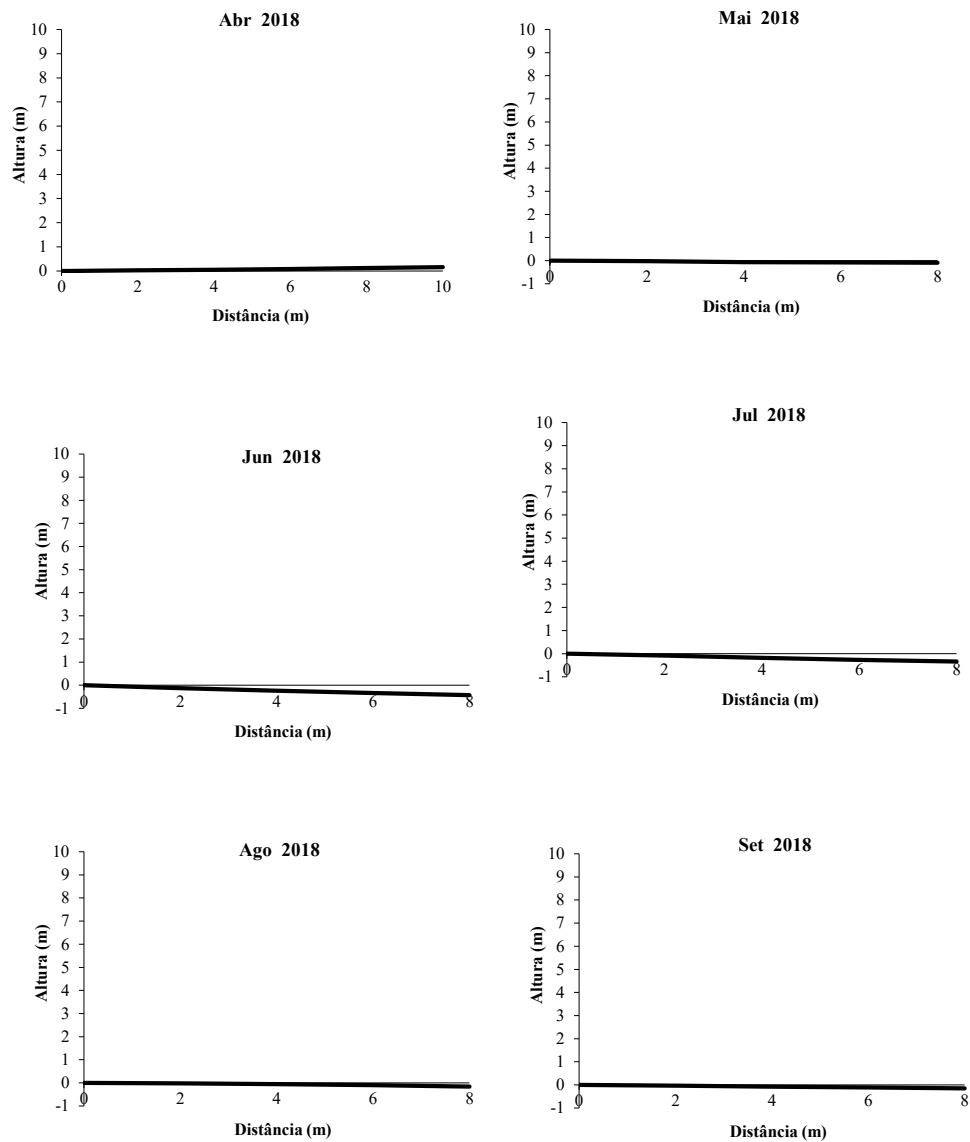


Figura 2 (continuação) no SI-I – Perfil praias de Arpoeiros durante o período de estudo (agosto/2017 a setembro/2018).

CONSTRUCTION OF A SUSTAINABILITY INDICATORS SYSTEM FOR OFFSHORE OIL AND GAS PRODUCTION UNITS

Lucia Maria de Araujo Lima Gaudencio^{@ 1}, Rui de Oliveira², Wilson Fadlo Curi³

ABSTRACT: Production units located in the Brazilian marine environment are responsible for the production of 95.7% of oil and 78.8% of natural gas of Brazil causing economic, environmental, and social impacts motivating us to construct a system of indicators as a tool aimed to improve the sustainable management practice of these production units. To date, one of the tools most used by the oil industry is the sustainability report, oriented by guidelines from international organizations. However, these reports have a corporate character being unable to help the sustainability management of production units' activities. The indicators were selected based on a systemic approach, using current knowledge on sustainability indicators, together with the survey of aspects relevant to the operation and management of offshore oil and gas production units. This paper describes the proposed indicators and presents the hierarchical structure of the system, built on the economic, environmental, social, and operational dimensions. The application of the proposed system of indicators, based on multicriterial and multiple decision-making analyses, validates a complex decision process, providing improved sustainable management of offshore production units by identifying points for which the necessary measures and actions can be implemented.

Keywords: offshore oil and gas production; sustainability indicators; multicriteria and multiple decision-making analyses.

RESUMO: As unidades de produção localizadas no ambiente marinho brasileiro que são responsáveis, respectivamente, por 95,7% e 78,8% da produção total de petróleo e gás natural do Brasil, causam impactos econômicos, ambientais e sociais, sendo por isso necessário definir um sistema de indicadores como ferramenta de apoio à gestão da sustentabilidade dessas unidades de produção. Até ao momento, uma das ferramentas mais utilizadas pela indústria do petróleo é o relatório de sustentabilidade, orientado por diretrizes de organizações internacionais. No entanto, esses relatórios têm um caráter corporativo, incapaz de ajudar no gerenciamento da sustentabilidade das atividades das unidades de produção. Os indicadores do modelo construído foram selecionados com base numa abordagem sistêmica, utilizando o conhecimento atual sobre indicadores de sustentabilidade e o levantamento dos aspectos relevantes para a operação e gestão de unidades de produção de petróleo e gás offshore. Este artigo descreve a definição desse sistema de indicadores proposto, apresentando a sua estrutura hierárquica baseada nas dimensões econômica, ambiental, social e operacional. O sistema de indicadores prevê a utilização de métodos de tomada de decisão com base em análises multicritério e multidecisor, proporcionando um melhor gerenciamento da sustentabilidade das unidades de produção offshore, pela identificação de pontos para os quais as medidas e as ações necessárias podem ser implementadas.

Palavras-chave: produção de petróleo e gás offshore; indicadores de sustentabilidade; métodos de análise multicriterial e multidecisor.

@ Corresponding author: lucia.gaudencio@ufcg.edu.br

1 Unidade Acadêmica de Engenharia Química - Universidade Federal de Campina Grande.

2 Paraíba State University; Technology Center; Postgraduate Program in Science and Environmental Technology - Doctorate in Environmental Engineering. Email: ruiideo@gmail.com.

3 Federal University of Campina Grande; Doctorate Course in Natural Resources; Postgraduate Course in Civil and Environmental Engineering. Email: wfcuri@gmail.com.

1. INTRODUCTION

The management of offshore oil and gas production units deals with conflicts of interest based on different views of decision makers, regarding technical, operational, economic, environmental, social, and political aspects. For example, the location decision for drilling wells based on technical considerations may face environmental constraints. The application of a system of sustainability indicators for these units, based on a systemic approach, can be a tool to support the management decision-making process. The management of these production units is often based on the analysis of individual criterion, intending on optimizing the operation from an economic point of view, without concern for environmental and social priorities.

Considering that the offshore oil and gas production activity covers aspects of several dimensions, it is necessary to use multicriteria analysis, based on a system that incorporates these different dimensions and considers the multiple areas of specialization disciplinary interface with the activity (Jollivet and Pavé, 2002; Weber, 2002). Criteria should guide decision-making for the sustainable management of offshore oil and gas production units that decision-makers should select, weigh and rank to identify the alternatives that best serve management. It is noticed that this is a complex process, for which the use of multicriteria methodologies seems to be adequate (Araujo and Almeida, 2009). Multicriteria methods, according to Rangel *et al.* (2009), help to manage situations that involve multiple concurrent objectives, providing a holistic view in the means that it considers all information available for decision making.

Lyra and Almeida (2018) understand that experience and knowledge of the problem situation are as essential for decision-making as the available data, a principle that is the basis of multicriteria methods. These methods incorporate multiple quantitative and qualitative criteria in the analysis and are essential considering the limitation of the human capacity to simultaneously analyze multiple possible alternatives and choose among them the best option.

Based on these premises and using the conceptual framework of sustainability indicators, presented in the Agenda 21 (UNSD, 1992), the present work presents the development of a system of indicators specifically designed to support the sustainable management of offshore oil and gas production units. The proposed system is based on multicriteria and multidecision-making methodology, contemplating indicators related to

economic, environmental, social, and operational dimensions.

This work initially presents, in Section 2, the theoretical basis regarding the topics addressed and necessary to meet the primary objective of the work. Section 3 describes the offshore oil and gas production projects, highlighting technical, operational, regulatory, and environmental aspects. Section 4 describes the construction methodology and the presentation of the indicator system for oil and natural gas production units. Finally, as a conclusion, the research presents the indication of the system as a tool to be used by oil and gas companies in Brazil.

2. THEORETICAL FRAMEWORK

2.1 Sustainable development and sustainability indicators

The concept of sustainable development, initially presented by the World Conservation Strategy (IUCN *et al.*, 1980) has evolved through the new concept presented by the Brundtland Report (WCED, 1987). During the Earth Summit in 1992, the Agenda 21 was launched, indicating sustainability indicators as tools for measuring the implementation of sustainable development. In 2002, the World Summit on Sustainable Development (UN, 2002) formalized the concept of sustainable development, based on the three pillars of sustainability: social, environmental, and economical with the motto “people, planet, prosperity”.

According to Dahl (2012), the measurement of sustainable development, using indicators, is a great challenge, given the size and complexity involved in the theme. The methodologies developed up to the present do not always cover all the different aspects that involve the concept of sustainable development.

Factors such as differences between regions (countries), cultural diversity and different degrees of development are relevant in the construction of indicators that sometimes cease to be part of this construction.

According to Waas *et al.* (2014), the holistic and multidimensional nature of sustainable development, with its uncertainties and risks, makes its evaluation and measurement complicated. Therefore, the principles of equity, dynamism, integration, and normativity are needed to the main changes for sustainable development implementation and should be included in the definition of sustainability indicators.

The dynamism principle is connected to the consideration that sustainable development is a process of continuous change over time. In this sense, the research must carry out

accomplishments aiming at the elaboration of other indicators and goals, as well as the proposition of actions of monitoring, evaluation, and implementation.

The United Nations Sustainable Development (UNSD, 2015) indicates that the process of selecting the sustainability indicators must follow a coherent structuring model in order to avoid arbitrariness of the process. Griggs *et al.* (2014) affirm that a structure that unifies the environmental and social dimensions makes possible the compensations and emphasizes the synergies between the two dimensions. Eurostat (2014) suggests two approaches to be applied in the development of indicator structures, classified as a policy approach and conceptual approach.

Hák *et al.* (2016) report that many indicators and indices of sustainable development have already been developed, but that new metrics should still appear. Other authors criticize the use of high numbers and a great variety of indicators, while others still believe that it is necessary to develop new indicators that are better, more representative, and more decisive.

Concerning companies, competitive pressures and legal requirements have led them to discuss and assume the positive and negative social and environmental impacts of their activities in fora dealing with economic development. This position was assumed based on the understanding that corporations have social obligations and, therefore, should adopt practices aimed at improving the conditions of society and the environment (Oliveira *et al.*, 2016).

Oil companies, known for their potential impacts on the environment, society, and the economy, must incorporate the concept of sustainable development into the management of their activities and, therefore, seek alternatives to support sustainability management.

Among the initiatives taken by the oil companies is the voluntary elaboration of corporate sustainability reports, based on guides for the preparation of these documents. This practice is a way for companies to communicate their sustainable actions. The institutions that authorize these initiatives also propose indicators that should be addressed in the sustainability reports and inform the presentation of the reports.

One of the tools most used by the oil industry is the sustainability report, oriented by the guidelines of the Global Reporting Initiative (GRI). GRI is an organization that counts on the participation of specialists from various business sectors, nongovernmental organizations, and government agencies,

representing more than 40 countries worldwide and guides the preparation of sustainability reports for corporations of different segments (GRI, 2016).

Even though most of the oil companies worldwide adopt this practice and having GRI great credibility in the market, sustainability reports are corporate and do not allow the sustainability assessment of the various segments of an oil and gas company. However, the Sustainability Report does not function as a support tool for the sustainable management of this or any other sector within the organization. The reports are much more suited to improving the image of companies as organizations concerned with the dissemination of their sustainable actions.

Development is a coevolutionary process, involving systems in a shared environment, where each system follows its path of self-organization in response to the challenges of particular environmental circumstances (Bossel, 2003a). Interconnections between interacting systems can be decomposed into a network of individual systems, each of which has its function and can affect one or more systems. Therefore, indicators should be selected to describe the performance of the individual system and its contribution to the performance of the other systems. The search for an appropriate set of indicators must be based on the identification of the essential components of the systems and any structure relevant to their sustainability.

It is important to keep in mind that good indicators should provide essential information about the feasibility of a system and its tendency to change and still to inform about how this favor or not the sustainable development of the system as a whole (Bossel, 2003b).

Considering that, oil and gas production units are open systems, the entire environment surrounding them should be considered as a control area. In this way, the imposition of control conditions and solutions is presented as a necessary measure to preserve the limited financial and non-financial resources that affect the functioning of the system and its environment. As financial resources are usually more limited than those of a non-financial nature are, they will save preferentially concerning materials, energy, and human effort (Lieber, 2003).

Considering the system to be controlled (oil and gas production units and their environment), it is perceived that, to reduce expenditures and dedicate efforts solely to the production activity, companies end up neglecting actions aimed at reducing degradation, improvement on the conditions of the workforce and increase of the social benefits of its activities.

The choice of representative indicators is based on the identification of the states and flows that provide relevant information on the feasibility of the system. However, it is not necessary to use each system variable as an indicator; a limited set of indicators may suffice. The challenge is to choose the best set of indicators. In the context of sustainable development, those aspects that indicate imminent threats are of significant relevance (Bossel, 1999).

According to Bossel (1999), before beginning the selection of indicators to evaluate the performance of a system, it is necessary to define normative guidelines for the correct choice and that represent the most fundamental aspects of the system. The comprehensive evaluation of the performance of a system should be multicriteria, where each aspect related to the elements of the system should be considered. Attention to the basic guiding principles of all the different subsystems and the total system will guide the search for reliable indicators as well as guiding coherent decision-making concerning sustainable development.

Some advisors are familiar with any system and must be addressed to have a robust and adequate set of indicators, like existence, efficiency, freedom of action, safety, adaptability, and coexistence (Bossel, 1999).

Some steps are essential for building correctly appropriate indicators. For example, all information must be collected for the knowledge of the system to be evaluated as a whole, as well as the interrelationships between its elements and subsystems. Another critical point is the definition of scenarios of future developments arising from these interrelationships. It is also necessary to define the time horizon and the systemic horizon for the measurement of the indicators. Finally, it should be defined as the interests of the managers responsible for activities and other stakeholders in these activities.

In order to measure an indicator, it must be defined a baseline, from which the change of a given state of the system can be measured. It is essential that the baselines considered be in line with public policies or that serve as a guide for their formulators (Moldan *et al.*, 2012).

2.2 Multicriteria and multiddecision-making analyses

According to Carvalho (2013), in the decision process, there may be conflicting interests arising from different views of the same problem when aspects related to different dimensions are considered. As stated previously, sustainability is multidisciplinary and, therefore, the development of its

indicators, based on the participation of specialists from the various themes involved in the indicators, can be supported by a multicriteria methodology.

Rangel *et al.* (2009) stated that multicriteria methods, help to deal with problems involving several simultaneous objectives, providing a holistic view, since they consider all the information available for decision making, which leads to the systematization and transparency of the decision-making process.

For Adissi *et al.* (2013), the multicriteria analysis has been used over the years for application in several areas of knowledge, such as economic, administrative, engineering, environmental, social and others, being possible the variations of the multicriteria method by ordering or by aggregation. Aggregation methods combine all the criteria into only one whenever one criterion of good performance can compensate for the poor performance of another. The sorting methods, on the other hand, are based on the comparison, on a par, between the opinions of the decision makers on the criteria. These can be associated with the French or American school. Among the methods of the French school is the family of methods PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations).

To choose an appropriate technique for a particular decision-making problem a detailed analysis must be carried out in different methods available, taking account of the specific advantages, disadvantages, and limitations of each of them (Gilliams *et al.*, 2005). The choice of the correct method to solve one specific decision-making problem depends on the type of problem, the objectives of the decision-makers and the desired properties of the solution obtained. Sometimes 'the simpler the method, the better', but other times, complicated decision problems can also require complex methods (Gorécka, 2011).

An order is an arrangement of some elements according to defined patterns or natural relations, such as numerical order, power set order whose ordering relation is the relation between subsets. In real life, ordinal information includes ordinal attributes, preference relation and so on, especially in decision making areas. Ordering according to decision makings is to find a suitable method for evaluating ranking alternatives based on provided ordinal information and criteria (Pei *et al.*, 2009).

Ordinal methods are considered very intuitive and not computationally demanding and the information required by the decision maker. The literature lists three ordinal multicriteria methods: Borda, Condorcet and Copeland, and there may be

improved variations of the primary methods (Valladares *et al.*, 2008).

In this paper, we must solve the voting problem of selecting, from the preferences of several specialists' individuals, one alternative out of a set of alternatives. The voting body is a committee of specialists from the production of oil and gas offshore operational and regulatory, environmental, economic, and social areas.

For a decision making based on the ranking, the first step is to find some suitable structures to represent the ordinal information involved, known as information representations. Next, it is necessary to choose the appropriate aggregation algorithm or inference mechanism to aggregate or classify the alternatives according to the ordinal information provided. The final step is to choose the "best" alternative, which usually consists of two phases: (a) the aggregation of order relations to obtain a collective performance value in the alternatives; and (b) the exploration of the collective performance value in order to establish a classification among the alternatives for choosing the best (Öztürk and Tsoukiàs, 2008).

The Copeland method orders the alternatives by the number of wins, minus the number of losses, in paired comparisons. In this method, each pair of alternatives is compared, using

all preferences to determine which one is most preferred. The preferred alternative receives 1 point. If there is a tie, each alternative will receive a half point. After all comparisons between pairs, the alternative with more points and, therefore, the one with the highest number of paired wins, is declared the winner (Gomes Júnior and Soares de Mello, 2010).

3. KNOWING THE STUDY SYSTEM - OFFSHORE OIL AND GAS PRODUCTION UNITS

3.1 Structure and operation

Most of the energy demand in the world is served by the production of oil and natural gas in the offshore environment. According to Maribus (2014), since 2000 offshore oil and gas fields have produced around 30% of world oil production and 27% of the world's natural gas production. In Brazil, according to the Monthly Production Bulletin, of National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP), referring to June 2018, offshore oil production was 95.7%, and offshore natural gas production accounted for 78.8% of all production (ANP, 2018).

Offshore oil and gas projects have many subsystems and components, Figure 1.

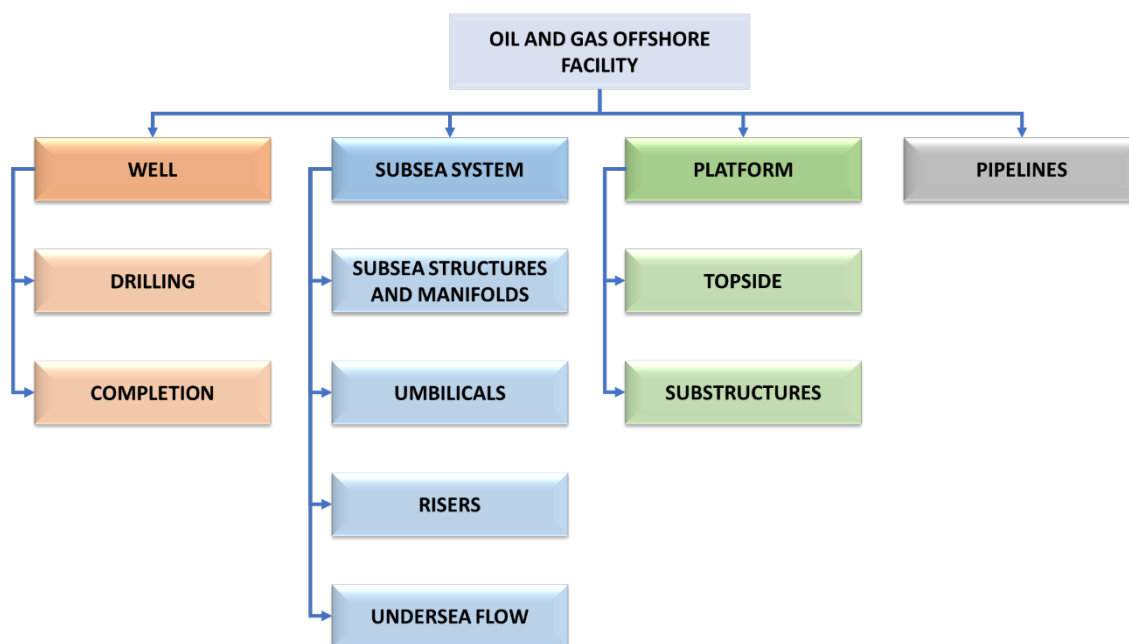


Figure 1. Typical structure of an offshore oil and gas facility (Rui *et al.*, 2017).

A typical offshore oil and gas production project includes the well, the submarine system, composed of the entire underwater structure of pipelines, risers, and manifolds; the platform (fixed or floating), to where the fluids produced are directed and where they should receive the preliminary treatment; and the pipelines, in charge of the production flow. Each of these components is composed of several elements, which vary depending on parameters such as location, distance from shore and depth and which will also guide the choice of the type of platform to be used.

For the development of suitable indicators for different types of offshore projects, Rui *et al.* (2017) employed a hierarchical structure that ensures the correct benchmarking of the projects currently operated.

Oil and gas production at sea requires a set of structures, known as offshore production system. This system is composed of three main components: the production unit or platform (UP), the submarine equipment, among which risers, manifolds, and fixed lines and the anchorage system, Figure 2.

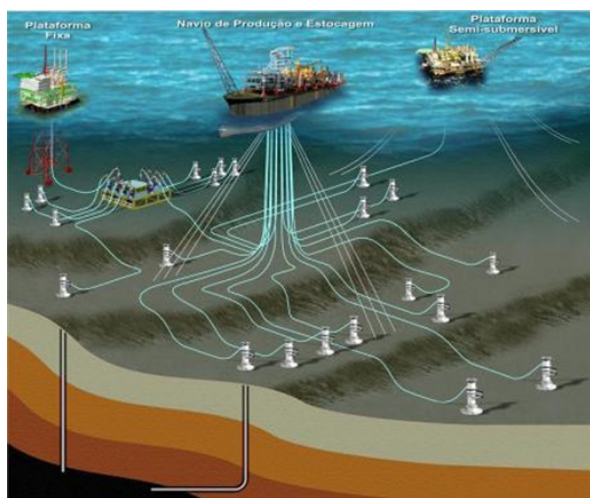


Figure 2. Offshore oil and gas production system (Petrobras, 2018).

The submarine equipment comprises the flexible lines, which have the purpose of transporting the fluids withdrawn from the reservoir in the subsoil at various pressures and temperatures. These lines can transport fluids between the well or manifold to the production unit, as well as carry out the transfer of oil and gas between interconnected units (Amorim, 2010).

There are also rigid lines, which are steel pipes arranged on the seabed with the function of transferring treated oil and gas to

other units or to land, where production will be directed to the appropriate destination.

As far as the system carries out the extraction of the oil and natural gas from the subsoil to the surface, it routes the fluids produced to their proper destination (refinery, natural gas processing unit, terminal, and port of export).

The choice of UP typology varies, among other parameters, with the location (water depth) where it will operate, with the environmental conditions of waves, winds and currents, type of marine soil and time and with the operating conditions. The UP can contain its storage tank, when the unit itself also functions as an ocean terminal or, if storage is not available, the transfer of the fluids produced must be carried out by a relief vessel or by a duct (Morais, 2013).

There are several types of platforms that can be classified by fixed platforms, self-elevating platforms; semisubmersible platforms, and Floating, Production, and Storage (FPSO) (Corrêa, 2003; Morais, 2013).

Another relevant element of the production system is the platform's anchoring system, which consists of structures that connect floating units to the seabed and has as main function to keep them as close as possible to their original positions. According to Albrecht (2005), the more rigid the anchorage system of a platform, the smaller is its displacement from its initial position. There are also dynamic positioning systems, where the vessel has automatic control of its position and direction, exclusively employing propellers or thrusters.

According to Corrêa (2003), companies use natural and artificial methods for the extraction of oil and natural gas. When fluids are trapped in underground reservoirs with sufficient pressure to reach the surface, and there is no need to use any external energy, the wells are characterized as naturally occurring. Already when there is the need for external energy application for fluids to reach the surface, it is called an artificial lift. There are 4 main methods developed with the purpose of promoting the artificial elevation of fluids to the surface, Leonez (2011): continuous gas lift (GLC) and intermittent (GLI); submerged centrifugal pump (BCS), mechanical pump by rod (BMH) and progressive cavity pump (BCP).

For recovery of hydrocarbons remaining in the underground reservoir, after the use of natural and artificial upwelling processes primary, secondary and advanced recovery processes of oil in place can be used. Among the conventional techniques used, the injection of water and of gas employing injector wells

made to boost the rise of the oil to the surface (Corrêa, 2003). Also, there are advanced methods that make use of more sophisticated technologies such as electromagnetic waves and can increase the recovery factor by up to 45% (Bressan, 2008).

Once the hydrocarbons are on the platform, the production water, and other impurities must be removed so that the oil and gas produced can finally be directed to their destination (refining and processing). Therefore, the platform should be equipped with production facilities for the primary processing of fluids. The processing structures imply the complexity of components of the production unit that will depend on the fluids produced (Moraes, 2013). If the water produced is reinjected, it must be treated in order to eliminate waste gases and oil. If the destination of the water produced is discharging, its treatment must be sufficient to meet the standards established by CONAMA Resolution N° 393, of 2007.

The work in offshore oil and gas production units is very demanding and requires continuous qualification and training, as well as a differentiated work regime, with a different routine, away from daily living with the family and with the presence of constant risks.

In order to compensate for the difficulties of onboard work, oil companies offer well-being environments during their stay on the platform, such as a variety of leisure time entertainment, meeting space, of good food and means of communication with land.

Commonly, companies offer compensatory financial bonuses in addition to days off calculated in proportion to one day's leave for each workday, in addition to legal holidays provided by legislation (Pinheiro Neto Advogados, 2018).

The Ministry of Labor (MT) is the body responsible for overseeing compliance with the rights and obligations of workers on offshore platforms and carries out inspection actions to monitor the application of the labor law.

Another highlight in this approach is the evolution of female participation in this segment, previously exclusively male. The participation of women in various activities developed within the platforms has provided the expansion of this participation allowing those workers who have the vocation for the work embarked, without preventing the occupation of essential functions and even positions of leadership or command.

Martins (2006) claims that the remuneration and social prestige of embedded workers are not commensurate with the high efforts required by the activities and, in his view, labor laws

do not favor them, causing class frustration. The author also presents the "precariousness of labor relationships regarding to wages, medical assistance, training and development and rest regime", in addition to highlighting the high turnover and lack of adequate qualification of outsourced workers, which, according to the author, constitute risk factors for the safety and health of all those on board.

Therefore, it is clear the need for demanding and adequate management of Safety, Environment and Health (SMS) to the offshore production unit labor force.

3.2 Impacts of offshore production activity

The offshore oil and gas production activity has impacts on the physical, biotic and socioeconomic resources of the entire area of influence of the facility. These impacts are identified in the environmental study, prepared for licensing, which should also present the mitigating measures, *i.e.*, actions to avoid or reduce the adverse effects of impacts (CONAMA, 1986); and the control and monitoring measures, aimed at monitoring the effects of environmental impacts.

In the offshore oil and gas production and outflow of production, the identified impacts are classified as operational (effective or real), related to the normal operation of the activity, and the potential impacts, those of uncertain nature, related to the occurrence of accidents. The impacts related to offshore oil and gas production may occur during the installation, operation or unit deactivation stages and vary, among other factors, with the location and type of platform.

In general, at the installation stage, effective impacts on the physical and biotic environments, such as interference in the marine communities (benthic, mammals, fishing resources and birds) and changes in water and air quality, can be identified. This stage also causes impacts in the socioeconomic mean, such as interference in fishing, variation in employment and income, increase in the cost of living, interference in the local economy, pressure on marine traffic and pressure on the infrastructure of final waste disposal.

In the phase of operation of the production units, are identified impacts in the physical and biotic media similar to the installation phase, plus the impacts of altered water quality and interference with plankton, resulting from the disposal of produced water. In the socioeconomic environment, although there is a valid positive impact by the generation of royalties, there are also negative impacts resulting from the establishment of 500 m fishing restriction zones around the platform.

Regarding the potential impacts of the activity, gravity and magnitude can be considered variable according to the type of occurrence, the most relevant being those related to accidental chemical and oil leaks at sea. These impacts may vary depending on the type and volume of leaked product, on the time of the year in which the leak occurred, on physical factors such as distance from the coast and water depth, on local meta-oceanographic conditions and the presence of natural resources in the area. It should be considered that, in cases of oil spill accidents, in addition to the marine environment, the coastal environments and all the natural resources and socioeconomic activities of the area of influence of the enterprise may also be affected (Petrobras, 2011).

4. METHODOLOGICAL ASPECTS FOR STRUCTURING OF THE SUSTAINABILITY INDICATORS SYSTEM

The construction of the sustainability indicators system for offshore oil and gas production units presented in this paper is based on a systemic approach, where the production units are considered complex systems, composed by several elements that interact, causing multiple effects between them and responsible for causing effects on other elements and on the environment.

The selection of appropriate sustainability indicators for offshore oil and gas operating units depends on the essential aspects as the detailed knowledge of the activity and its interaction with the external environment and the type of information available for assessing the sustainability performance of the activity (Labuschagne *et al.*, 2005). Other points of emphasis are the use of an adequate scientific methodology to translate the information, in order to allow the interpretation of the phenomenon associated with it, and the identification of the evaluators and decision makers who will use the indicators system to support the management of the activity.

4.1 Structuring the problem

The construction of the sustainability indicators system was preceded by a survey of the elements that make up an offshore oil and gas production system and by the analysis of how each component interacts with the others and the external environment, as well as by the relationships between them within the system as a whole (Step 1). This stage involved a bibliographical and documentary survey and the contact with professionals in the technical area of production and regulation of oil and gas production activities, environmental and social

analysts, as well as representatives from various interface academic areas. The contact with these professionals aimed at the knowledge about the structure and operation of the units studied, as well as on the regulatory requirements to which they are submitted, and the social and environmental impacts associated with them. This step was necessary for the certification that the scope of the selected indicators is realistic and applicable and meets the scope defined in this work.

With the survey of the knowledge about the system under study, we went to the brainstorming stage (Step 2), with the participation of a group of supporters in discussions about the aspects of the studied activity, for the selection of the appropriate indicators and the respective dimensions, which should be covered by the indicator system. The group of supporters made up of professionals from various backgrounds (chemical, environmental and civil engineers, sociologists, economists, and law graduates) played a relevant role in this stage. From the opinions released and the discussions made, based on the bibliography analysed, the system indicators were pre-defined.

Indicators used in previous works by Viana (2012), GRI (2016) and IPIECA (2016), served as a basis for the definition of those of the model developed. A customized analysis of each selected indicator was carried out in order to recognize its specific conditions and restrictions concerning the system to be proposed. National and international sensitivities were identified and recognized for the topics addressed, considered of importance for the oil and gas sector, to avoid either under or supervaluation analyses.

The participation of the multidisciplinary supporter's group ensured that a variety of sustainable themes were contemplated, seeking to ensure that no relevant topics were overlooked and thus ensuring the maximization of the use of the participatory approach in the evaluation of the proposed indicators. After consensus on the pre-selected indicators, they were submitted to an analysis (Step 3), which followed the scheme presented in Figure 3.

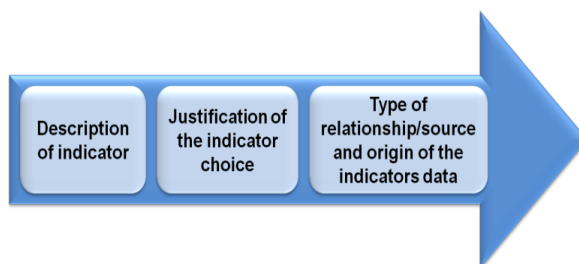


Figure 3. Scheme for selecting the indicators (Adapted from Carvalho, 2013).

For each pre-selected indicator, its meaning was described, and what should be measured through it. Next, it was indicated the justification for the selection of the indicator and the type of its relationship (positive or negative), *i.e.*, if the aspect to which the indicator refers, is favorable, the relationship should be positive, or otherwise the indicator has a negative relation, and its quantification must be minimized. The sources of data origin were also identified in this phase. It is worth noting that this was a criterion for cutting some indicators selected previously for their relevance but discarded by the absence or inaccessibility of the data needed for their measurement.

4.2 Hierarchical structure of the sustainability indicators system

After the selection of all the indicators of the model, the hierarchical structuring stage of the indicator system (Step 4) was defined, where the sub-dimensions that make up the indicator system were also defined, according to their thematic. It is essential to use the hierarchical analysis that makes it possible to approach complex problems, considering multiple simultaneous criteria.

From the top of the hierarchical structure of the indicator system economic, environmental, social, and operational dimensions are derived (Figure 4). For each dimension were defined sub-dimensions grouping indicators according to related themes. Thus, hierarchical structuring allows the same indicator to be analyzed from the perspective of different dimensions

and subdimensions, and a complex decision problem can be analyzed separately for later analyzes to be aggregated and, finally, the problem is solved.

The final model is composed of 54 indicators, grouped into the dimensions: economic (10 indicators), environmental (14 indicators), social (11 indicators), and operational (19 indicators), also presenting three sub-dimensions of economic dimension; five of environmental, four of social dimension and three of operational dimension. Figures 5, 6, 7 and 8 show the structures of the indicator system for the selected dimensions.

Measurement is based on individual metrics, which consider the characteristics of the indicator and the guiding references by regulations, public policies or good practices of the oil and gas industry.

To define the degree of sustainability of offshore oil and gas production units, the indicators were submitted to the appreciation of specialists from various professional backgrounds. These experts expressed their opinions on the indicators, according to their perception, assigning weights, related to the classification of very high, high, medium, low or none. These weights and the indicators' values, calculated from real data, fed software that processed input data.

The application of the multicriteria associated with the multidecision-making analysis provided the presentation of the sustainability ranking among the analyzed production units.

Table 1. Dimensions and indicators of the system.

Dimension	Indicators
Economic	Interference in the region's economy; duration of the development; environmental sensitivity of the influence area; contribution of the activity to the oil sector; field profitability; produced fluid(s); environmental compensation fee; environmental fines; labor fines and investment in research, development, and innovation.
Environmental	Electric power generation system; atmospheric emissions; extraordinary gas burnings; environmental sensitivity of the influence area; chemical injection; water production; field area; degree of effective impacts of the activity; impacted land area; extent of influence area; pollution control project; oil spill warning system; individual emergency plan and production outflow.
Social	Public hearings; interference with fishing; extent of influence area; individual emergency plan; platform crew; Health, Environment and Security (HES) of the development; labor fines; interference in the region's economy; influence of activity on poverty reduction in the region; influence on human development and duration of the enterprise.
Operational	Water demand; extraordinary gas burn; operating license; conditions of the operating license; labor fines; environmental fines; accidents in the management; production estimate; environmental audits; development plan; produced fluid(s); anchorage system; incidents with risks to health and the environment; platform crew; fire detection and fire fighting system; plant production processing; on-board communication system; preliminary hazard analysis and number of interconnected wells.

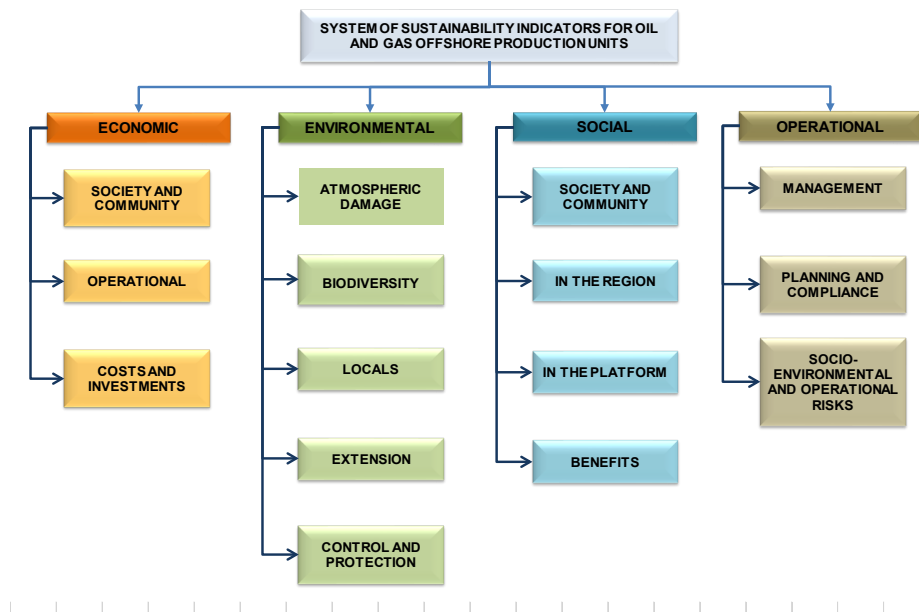


Figure 4. Hierarchical structure of the indicator system for offshore oil and gas production units.

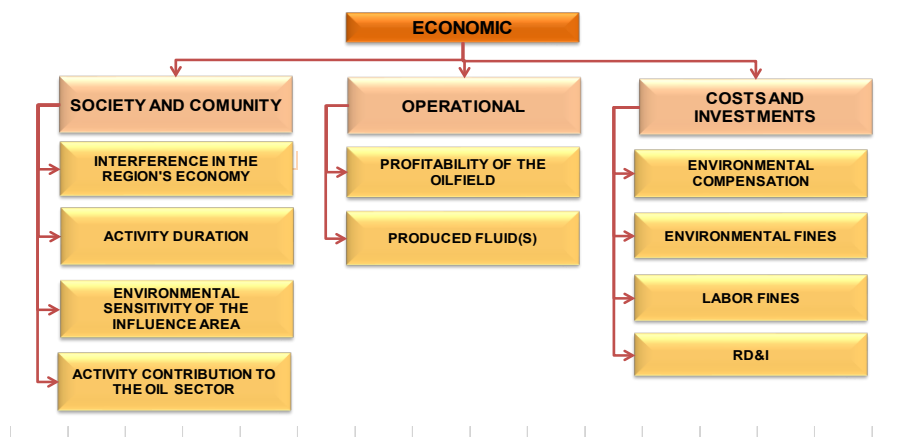


Figure 5. Flow chart of the sustainability indicators system for offshore oil and gas production units (Economic dimension).

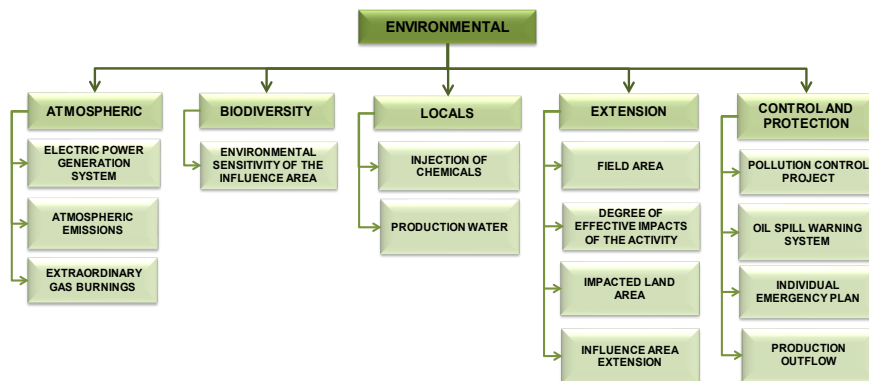


Figure 6. Flow chart of the sustainability indicators system for offshore oil and gas production units (Environmental dimension).

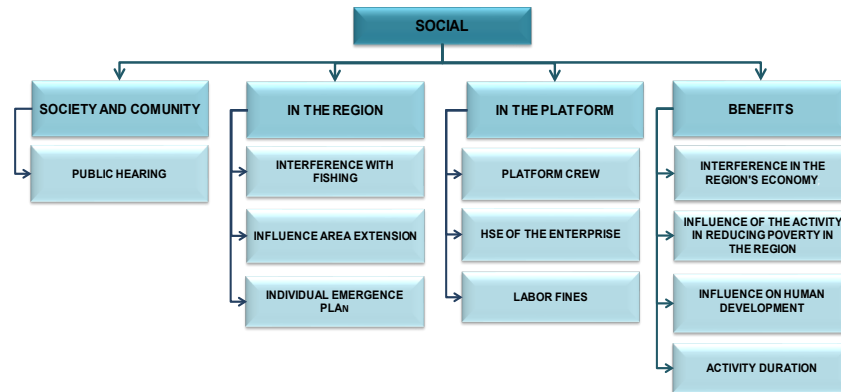


Figure 7. Flow chart of the sustainability indicator system for offshore oil and gas production units (Social dimension).

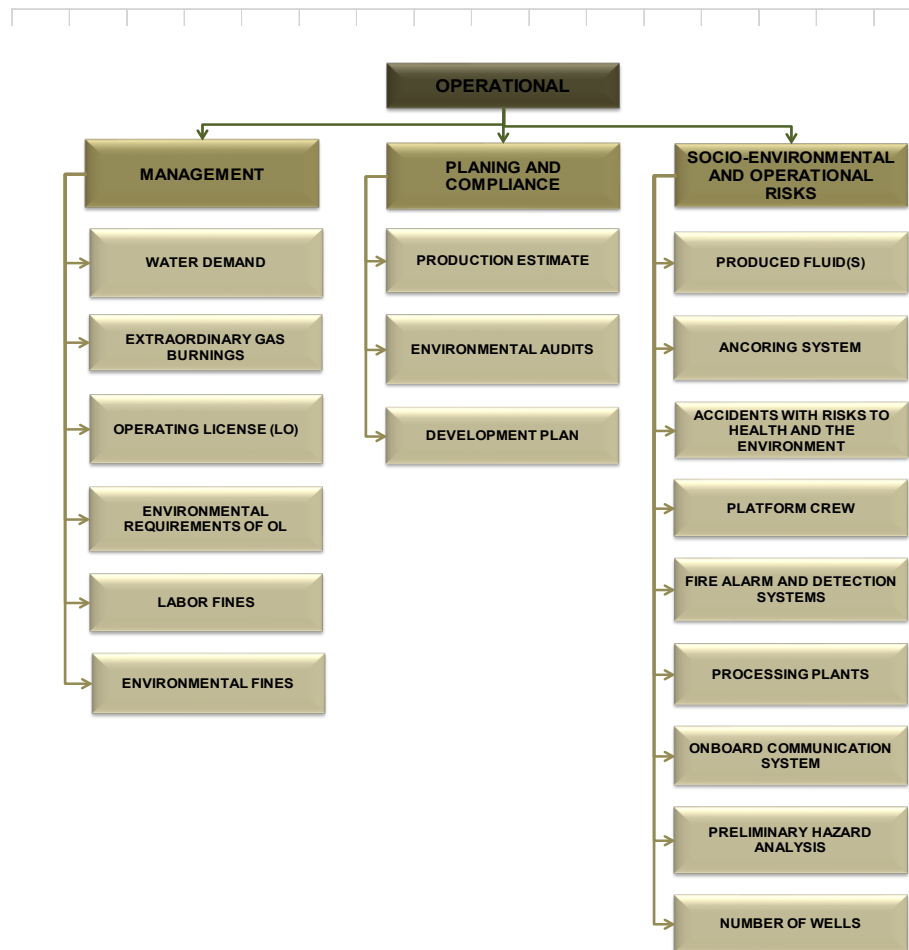


Figure 8. Flow chart of the sustainability indicator system for offshore oil and gas production units (Operational dimension).

5. APPLICATION OF THE SUSTAINABILITY INDICATORS SYSTEM TO OIL AND GAS PRODUCTION UNITS IN ACTIVITY IN OFFSHORE SEDIMENTARY BRAZILIAN BASINS

To validate the sustainability indicators system, the research presents the results of its application, using the River Basin Information and Operation Support System (RIOSS) platform. RIOSS is a decision support software developed by the researchers of the Total Water Optimization Group (GOTA), Federal University of Campina Grande. One of the objectives of RIOSS is the comparison of scenarios through indicators, multicriteria analysis, and multidecision-making analysis or using combinations between them.

The multiple decision-maker analysis associated with the multicriteria counted on the participation of a multidisciplinary group of decision-makers, who gave their opinion on the importance of each indicator, through the attribution of weights, defined in the questionnaires submitted to each decision-maker. The responses reflected the perception of each one and it was observed that no indicator received equal weight by all decision-makers simultaneously. On the contrary, there was a variation in the perception of decision-makers regarding the influence of the indicator on sustainability. It was also observed that for the evaluation of the indicators related to the sub-dimension “socio-environmental and operational risks” there was more agreement between the opinion of the decision-makers.

These data were inserted in the RIOSS computational platform, after the previous registration of all indicators, with the definition of their positive or negative influence on sustainability. The metrics for the measurement of each indicator were also previously defined, obtaining their respective values, which were also registered in RIOSS.

The next step was the registration of decision-makers in RIOSS, with the attribution of weights equal to 1 for all of them, being established that all decision-makers have equal decision power. After this stage, the weights of all indicators, assigned by each decision-maker, were registered, and based on these values the software calculated the relative weights for all indicators, to promote data standardization. To meet yet another requirement of the PROMETHEE II multicriteria method, the preference functions of each indicator were defined, observing the behavior of each one individually and the existence of legal, normative, or empirical parameters.

With all the data necessary for the multicriteria and multiple decision-makers’ analyzes properly inserted in the RIOSS platform, the result of the sustainability performance ranking was obtained.

In the particular case of this research, the comparison among three scenarios was made (oil and gas production units in activity in Brazilian sedimentary basins), by meeting the sustainability indicators of the proposed system. Also, the weights attributed to them by 34 decision-makers (specialists) were considered, the application of hierarchical multicriteria analysis (PROMETHEE II), which selects the best alternative for decision-making and multi-decision analysis (Copeland), for the combination of individual rankings defined by each decision-maker in a global ranking.

The scheme presented in Figure 9 represents the sequence of activities performed in RIOSS to obtain the sustainability performance result of the analyzed oil and gas production units.

After carrying out the entire sequence of activities, the results of the ranking of the sustainability performance of the three oil and gas production units in activity in Brazilian sedimentary basins (Figure 10) were obtained. The three units were selected considering different characteristics regarding the platform typology, location in different water depths and distance from the coast, productivity, profitability, crew capacity, generation of royalties and other aspects contemplated by the indicators of the proposed system.

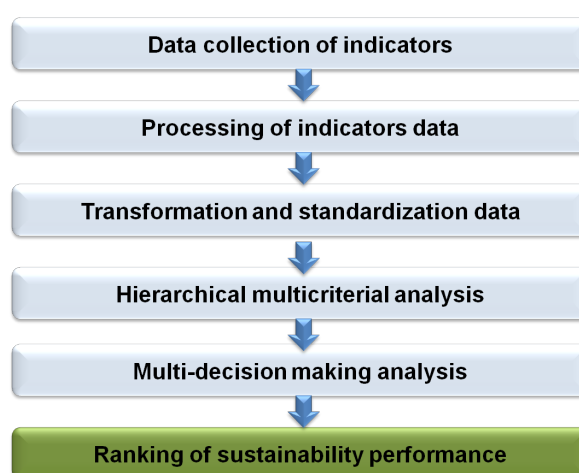


Figure 9. Activities carried out to obtain the sustainability performance ranking of the oil and gas production units.

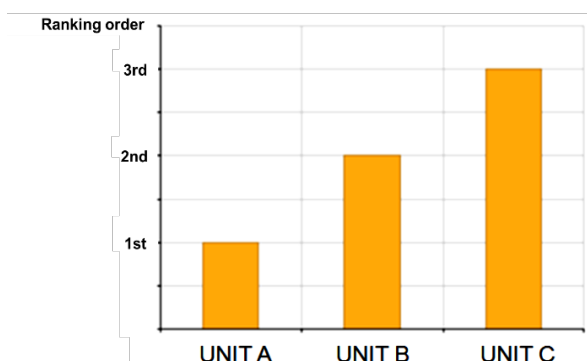


Figure 10. Ranking of sustainability performance of the analyzed production units (RIOSS, 2018).

The result shows that, among the three (3) production units analyzed, Unit A is the one that presents the best sustainability performance, calculated from the calibration of the 54 indicators of the proposed system, considered in a weighted way, from weights attributed by multiple decision-makers, the economic, environmental, social, and operational dimensions. In second place in sustainability performance is Unit B, and, finally, Unit C. The result, unpredictable by partial or sectoral considerations, is coherent when considering aspects related to the multiple dimensions that involve such a complex system. For example, if an analysis is made considering only aspects of the economic dimension, Unit B would probably be in the first place because it is a highly profitable unit about the others. However, the result changes when aspects of the other dimensions are considered together, to define the best performance in sustainability.

6. CONCLUSIONS

The adoption of processes of environmental management and social responsibility is no longer an option and has become a competitive differential between companies operating in the globalized market, such as oil companies. The pressures of the market and of the society itself impose dynamism on the insertion of the environmental variable and social responsibility in the management of the companies, being considered sources of essential transformations.

The growing degradation of the environment, coupled with the change of consciousness and the behavioral pattern around the world, made it possible for organizations to understand the importance of generating social benefits and environmental preservation in the development of their activities. Even the agencies that certify economic performance changed the strictly

financial indexes for the adoption of financial sustainability indexes, such as the BOVESPA Sustainability Index and the Dow Jones Sustainability Index, among others.

The present paper presents a system of sustainability indicators, built appropriately for the application on offshore oil and gas production units, as a tool for sustainability management, and intend to induce their adoption by oil companies.

The use of this tool will not only provide greater competitiveness to companies in the Brazilian and world markets but will also offer to stakeholders, society as whole, public policies makers on the sustainability performance of production units.

The use of the sustainability indicators system, presented in this paper, can improve the sustainable management of the operators of offshore oil and gas production units, guiding the search for productive and profitable results. The adoption of this tool can lead to the creation of processes and products less aggressive to the environment and more socially responsible, promoting profit, and generating a more sustainable market.

The article presents a proposal for a multicriteria approach, based on the prioritization of strategic alternatives to sustainability, to be adopted by operators of the oil and gas production units.

The proposed method accomplishes its purpose, since it performs a complex process of decision, based on the opinion of several decision makers of multidisciplinary formations, avoiding that a unit that performs better in one criterion and inferior in the others is privileged. That is, the best performance in sustainability will be considered the one of the production unit for which the calculation of all the criteria, calculated with the consideration of the weights attributed to them by the decision makers, represents the best alternative.

REFERENCES

- Adissi, P. J.; Pinheiro, F. A. e Cardoso, R. S. (2013) - *Gestão ambiental de unidades produtivas*. 1ª Ed. Elsevier. Rio de Janeiro/RJ.
- Albrecht, C. H. (2005) - *Algoritmos Evolutivos Aplicados à Síntese e Otimização de Sistemas de Ancoragem*. Tese de Doutorado em Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- Amorim, T. O. de. (2010) - *Plataformas Offshore: Uma Breve Análise desde a Construção ao Descomissionamento*. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Construção Naval, da UEZO.

- ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) (2018). Available at <http://www.anp.gov.br>. Last accessed: August, 2018.
- Araújo, A. G. de, e Almeida, A. T. de. (2009) - Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação usando o método PROMETHEE. *Gestão & Produção*. (Online) 16(4): 534-543.
- Arcot, L. (2004) - Sustainable Development in the Oil and Gas Industry. *Journal Energy Resource and Technology* 126(1):1-5. doi:10.1115/1.1653768.
- Bossel, H. (1999) - Indicators for Sustainable Development: Theory, Methods, Applications. A Report to the Balaton Group. International Institute for sustainable Development.
- Bossel, H. (2003a) - Assessing Viability and Sustainability a Systems-based Approach for Deriving Comprehensive Indicator Sets. *Conservation Ecology*. 5(2).
- Bossel, H. (2003b) - Indicators for sustainable development – a systems analysis approach. *Unveiling Wealth on Money, Quality of life and Sustainability*. Peter Bartelmus (Editor). Kluwer academic publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
- Bouyssou, D. (1986) - Some remarks on the notion of compensation in MCDM. *European Journal of Operational Research*, 26(1):150-160.
- Brans, J.P. and Mareschal, B. (2002) - PROMETHEE-GAIA, une Methodologie d'Aide à la Décision en Présence de Critères Multiples. Éditions Ellipses, Bruxelles.
- Bressan, L. W. (2008) - Recuperação avançada de petróleo. Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- Carvalho, E. (2013) - Decisão na administração pública: Diálogo de racionalidades. *Sociologia, problemas e práticas*. 23:131-148.
- Cavalcante, C. A. V., Almeida, A. T. (2005) - Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro. 25(2).
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (1986) - Resolução nº 1. Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudo de Impacto Ambiental.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (2007) - Resolução nº 393. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências.
- Corrêa, O. L. S. (2003) - Petróleo: noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia. Rio de Janeiro. Interciência.
- Dahl, A. L. (2012) - Achievements and gaps in indicators for sustainability. *Ecological Indicators*, 17: 4-19.
- EUROSTAT (2014) - Getting messages across using indicators - A handbook based on experiences from assessing Sustainable Development Indicators - 2014 edition. Eurostat, Luxembourg. Publications Office of the European Union. Last accessed May, 2018.
- Gomes Júnior, S. F. and Soares de Mello, J. C. B. S. (2007) - Emprego de métodos ordinais multicritério na análise do campeonato mundial de Fórmula 1. In: Simpósio de pesquisa operacional e logística da marinha - SPOLM, 10, Anais.
- Goręcka, D. (2011) - On the choice of method in multicriteria decision aiding process concerning European projects. In book: Multiple Criteria Decision Making '10-11 (pp.81-103).
- GRI (Global Reporting Initiative) (2016) - Available at <http://database.globalreporting.org/>. Last accessed September 2016.
- Griggs, D.; Smith M. S.; Rockström, J.; Öhman M. C.; Gaffney O.; Glaser G.; Kanie, N.; Noble, I.; Steffen, W.; Shyamsundar, P. (2014) - An integrated framework for sustainable development goals. *Ecology and Society* 19(4).49 <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07082-190449>.
- Hák, T.; Janousková, S.; Moldan, B. (2016) - Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. *Ecological Indicators*. 4 (3).
- IPIECA - International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (2016) - Disponível em: <<http://www.ipieca.org/>>
- IUCN (International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources; UNEP (United Nations Environment Programme); WWF (World Wildlife Fund (1980) - World conservation strategy, living resource conservation for sustainable development.
- Jollivet, M. and Pavé, A. (2002) - Meio Ambiente: Questões e perspectivas para a pesquisa In: Vieira, P. F.; Weber, J. *Gestão de Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento: Novos Desafios para a Pesquisa Ambiental*.
- Labuschagne, C.; Brent, A. C.; Van Erick, R. P. G. (2005) - Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*. 13(4): 373-385.
- Leonez, R. C. de Lima. (2011) - Métodos de elevação utilizados na engenharia de petróleo-Uma revisão de literatura. Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Campus Angicos.
- Lieber, R. R. (2003) - Evidência e incerteza na saúde ambiental. (Painel) In: VII Congresso Brasileiro de Saúde Coletiva, Abrasco, Brasília, DF.
- Lopes, L. G. N.; Silva, A. G.; Goulart, A. C. O. (2015) - A Teoria Geral do Sistema e suas aplicações nas ciências naturais - The System General Theory and its applications on natural sciences. *Natureza online*. ISSN 1806-7409.
- Lyra, R. M.; Almeida, F. M. L. (2018) - Measuring the performance of Science and Technology Parks: a proposal of a multidimensional

- model. *Journal of Physics: Conf. Series* 1044 doi: 10.1088/1742-6596/1044/1/012042.
- Maribus (2014) - *The World Ocean Review – Marine Resources Opportunities and Risks*. Hamburg. Germany. ISBN: 978-386648-221-0.
- Martins, S. M. R. (2006) - O trabalho offshore: um estudo sobre as repercussões do confinamento nos trabalhadores das plataformas de petróleo na Bacia de Campos, RJ. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Políticas Sociais do Centro de Ciências do Homem, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes/RJ.
- Moldan, J., Janoušková, S. e Hák, T. (2012) - How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological Indicators* Vol. 17 pp. 4-13.
- Morais, J. M. (2013) - Uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore. IPEA – Petrobras. Brasília/DF.
- Oliveira, J. A., Oliveira, O. J., Ometto, A. R., Ferraudo, A. S., Saldado, M. H. (2016) - Environmental Management System ISO 14001 factors for promoting the adoption of Cleaner Production practices. *Journal of Cleaner Production*. 133(1): 1384-1394.
- Öztürk, M.; Tsoukiàs, A. (2008) - Bipolar preference modelling and aggregation in decision support, *International Journal of Intelligence Systems* 23 (9) 970-984.
- Pei, Z.; Ruan, D.; Liu, J.; Xu, Y. (2009) - *Linguistic Values Based Intelligent Information Processing: Theory, Methods, and Applications*, Atlantis Press/World Scientific, Paris/Singapore.
- Petróleo Brasileiro (PETROBRAS). (2011) - RIMA Relatório de Impacto Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-sal da Bacia de Santos – Etapa 2.
- Petróleo Brasileiro (PETROBRAS). (2018) - Exploração & Produção de Petróleo e Gás. Available at <https://diariodopresal.wordpress.com/petroleo-e-gas/>. Last accessed August, 2018.
- Pinheiro Neto Advogados. (2018) - Trabalhadores a bordo de navios e plataformas – Principais aspectos legais. Available at: http://www.ahkbrasil.com/upload_arq/Pinheiro%20Neto.pdf. Last accessed August, 2018.
- Rangel, L. A. D.; Gomes, L. F. A. M.; Moreira, R. A. (2009) - Decision Theory With Multiple Criteria: An Application of ELECTRE IV and Todim to SEBRAE/RJ. *Revista Pesquisa Operacional*, 29(3): 577 - 590.
- RIOSS (River Basin Information and Operation Support System) Grupo de Otimização Total da Água (GOTA). (2018) - Universidade Federal de Campina Grande. Available at: www.rioss.com. Last accessed September.
- Rui, Z.; Li, C.; Peng, F.; Chang, H. (2017) - Development of industry performance metrics for offshore oil and gas project. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. doi: 10.1016/j.jjn.
- United Nations (UN). (2002) - World Summit on Sustainable Development meets in Johannesburg. Aim: improve lives while preserving earth's resources. Johannesburg, South Africa.
- United Nations Sustainable Development (UNSD). (1992) - Agenda 21. United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, Brazil. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>. Last accessed September, 2016.
- United Nations Sustainable Development (UNSD). (2015) - Draft outcome document of the United Nations summit for the adoption of the post-2015 development agenda. Available at: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/69/L.85&Lang=E. Last accessed December, 2017.
- Valladares, G. S.; Gomes, E. G.; de Mello, J. C. S. C.B.; Pereira, M. G.; dos Anjos, L. H. C.; Ebeling, A. G.; Benites, V. B. (2008) - Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(1): 285-296.
- VIANA, M. B. Avaliando Minas: índice de sustentabilidade da mineração (ISM). (2012) - 372f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) Universidade de Brasília, Brasília.
- Waas, T.; Hugé, J.; Block, T.; Wright, T.; Benitez-Capistros, F.; Verbruggen, A. (2014) - Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. *Sustainability*. 6(9).
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987) - Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.
- Weber, J. (2002) - Gestão de Recursos renováveis: Fundamentos Teóricos de um Programa de Pesquisas. In: Vieira, P. F.; Weber, J. (Orgs.). *Gestão de Recursos Naturais Renováveis e Desenvolvimento: Novos Desafios para a Pesquisa Ambiental*. Tradução Anne Sophie de Pontbriand Vieira, Christilla de Lassus 3ª Ed. São Paulo: Cortez, pp. 115-146.

VULNERABILIDADE COSTEIRA A DERRAMES DE ÓLEO E À INUNDAÇÃO DE UMA ILHA FLUVIO-ESTUARINA AMAZÔNICA – ILHA DE MOSQUEIRO (BELÉM-PARÁ-BRASIL)

Yago Yguara Parente^{@ 1}, Amílcar Carvalho Mendes², Artur Gustavo Oliveira de Miranda³, Karina da Silva Lopes⁴

RESUMO: O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) consiste em um método que foi projetado para sinalizar segmentos costeiros de alta vulnerabilidade, no qual são combinados diversos fatores de risco individuais para compor um único índice. Desse modo, representa uma ferramenta para a geração de informações de grande significância para o planejamento e o gerenciamento costeiro integrado. O objetivo desse trabalho foi apresentar o diagnóstico da vulnerabilidade costeira aos incidentes que envolvam derrame de derivados de hidrocarbonetos e, também, o prognóstico da vulnerabilidade costeira à inundação da Ilha de Mosqueiro (Belém-Pará-Brasil), em escala de 1:25.000. Foram utilizados dois tipos de IVC: o primeiro, por ser amplamente difundido, foi denominado de IVC-Padrão, que levou em consideração as seguintes variáveis: geomorfologia, variação da linha de costa, declividade, cenários de elevação do nível médio do mar, altura significativa de ondas e amplitude de maré; o segundo, IVC ao Derrame de Derivados de Petróleo (IVC-DDP), é uma metodologia inédita que integra o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL), a variação da linha de costa, a infraestrutura urbana e a vegetação. A partir da análise dos resultados foi constatado que o mapeamento do IVC-Padrão apresentou apenas duas classes de vulnerabilidade (baixa e média), sendo que, para a escala proposta, não houve variação significativa da linha de costa da área estudada. Por outro lado, o IVC-DDP permitiu a definição de quatro classes, onde as classes mais frágeis se concentraram no setor noroeste da Ilha, devido à mancha urbana encontrar-se nesta região. Assim, a Ilha de Mosqueiro apresenta pequeno grau de vulnerabilidade associado à inundação, entretanto alto grau, em relação ao derramamento de óleo.

Palavras-chaves: Gestão costeira, sensibilidade litorânea, mudanças climáticas, inundação.

ABSTRACT: The coastal vulnerability index (CVI) consists in a method that was projected to indicate high vulnerability coastal segments, which combines several factors of individual risks in only an index. Thus, it represents a tool for the creation of high significance information for the coastal planning and management. The aim of this study was to introduce the coastal vulnerability diagnosis to the incidents that involve oil spill and also the coastal vulnerability outlook to the flooding of Mosqueiro island (Belém-Pará-Brazil) in a scale of 1:25.000. Two kinds of CVI were used: the first, because it was widespread, was called of standard CVI, and took into consideration: geomorphology, shoreline changes, coastal slope, scenarios of relative sea level change, significant wave height and the tides range; the second, CVI Oil spill (CVI-OS), is an unpublished methodology that integrates the seashore sensibility index (SSI), shoreline change, urban infrastructure and vegetation. From the analysis of results, it was verified that the mapping of standard CVI presented just two vulnerability classes (low and medium). For the proposed scale, there wasn't significant shoreline change. On the other hand, the CVI-OS allowed the definition of four classes, where the weakest gathered on the northwest island place, due to the urban spot find itself on this region. So, the Mosqueiro island presents a small degree of vulnerability associated to the flooding, however a high degree, with respect to the oil spill.

Keywords: Coastal management, oil spill, climate changes, flooding.

@ Autor correspondente: yagoparente96@gmail.com

1 Universidade Federal do Pará.

2 Museu Paraense Emílio Goeldi. Email: amendes@museu-goeldi.br.

3 Universidade Federal do Pará. Email: arturgustavomiranda@gmail.com.

4 Universidade Federal do Pará. Email: Karinaslopes0@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O aumento relativo do nível do mar representa ameaça significativa para os sistemas costeiros, assim como para os ambientes fluvio-estuarinos, planos e de baixa altitude em todo o mundo, levando à inundações e à erosão da zona costeira, à salinização das reservas de água doce, perdas de habitats (e.g. manguezais, marismas, etc.), de culturas agrícolas e danos a estruturas costeiras (Nicholls e Cazenave, 2010; Busman, 2016).

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) adverte que a superfície da Terra pode aquecer entre 2,6 e 4,8°C ao longo deste século, o que faria com que o nível dos oceanos se elevasse, em média, entre 52 e 82 cm. Estudos anteriores (Brasil, 2008; Oliveira e Rutkowski, 2008) mostraram que o nível médio dos oceanos já subiu, em média, 20 cm entre 1900 e 2012 (IPCC, 2014). Segundo os cenários tratados no IPCC, se a taxa de elevação dos oceanos exceder outros 60 cm, com a atuação das forças hidrodinâmicas, sobretudo os regimes de marés e do clima de ondas, o resultado será forte erosão nas áreas costeiras de todo o planeta (IPCC, 2014), notadamente aquelas submetidas aos efeitos de macromarés.

Tem sido cada vez mais premente o desenvolvimento de métodos e análises que busquem quantificar os diferentes graus de vulnerabilidade costeira às mudanças climáticas, sobretudo considerando as diferentes escalas de ocorrência dos fenômenos, que incluem agregações de dados que interagem de diferentes maneiras e em distintas situações (Mello *et al.*, 2010).

De acordo com a Política Nacional de Mudanças Climáticas do Brasil (Lei nº 12.187/2009), vulnerabilidade pode ser descrita como o grau de suscetibilidade e incapacidade de um sistema, em função de sua sensibilidade (capacidade de adaptação) e do caráter (magnitude e taxa de mudança e variação do clima a que está exposto) de lidar com os efeitos adversos da mudança do clima, entre os quais a variabilidade climática e os eventos extremos.

Segundo Santos *et al.* (2015), mapeamentos de vulnerabilidades à elevação do Nível Médio do Mar (NMM), em escala regional, foram realizados em várias regiões do planeta, como ferramenta de gestão costeira de áreas suscetíveis a desastres naturais. Citam-se, como exemplos, os trabalhos de Gornitz *et al.* (1994), Shaw *et al.* (1998), Thieler e Hammar-Klose (1999), Hammar-Klose *et al.* (2003), Boruff *et al.* (2005), Kumar *et al.* (2010), Pendleton *et al.* (2010), Boori e Amaro (2011) e Gorokhovich *et al.* (2014).

O mapeamento sistemático da linha de costa e das suas mudanças ao longo do tempo, representa uma ferramenta de elevada importância para a geração de dados para o planejamento e gerenciamento costeiro. Eles fornecem subsídios para o estabelecimento de faixas de recuos da zona litorânea, permitem a determinação de áreas de risco de erosão costeira e contribuem com informações para a implantação de obras de intervenção direta na linha de costa (Anders e Byrnes, 1991; Crowel *et al.*, 1991; Mazzer, 2007).

Segundo Oliveira *et al.* (2019) grande parte dos problemas relacionados à erosão costeira em áreas urbanizadas decorrem da falta de conhecimento das dinâmicas costeiras, o que resulta em um planejamento inadequado da ocupação, principalmente pela desconsideração das variações relativas do nível médio do mar.

As zonas costeiras possuem condições naturais que propiciam as mais diversificadas atividades, destacando-se o turismo (Cristiano *et al.*, 2018), notadamente nas regiões intertropicais, pois apresentam elementos como: praias, sol durante o ano todo e grandes faixas de areia. Tais características fisiográficas levam a um desenvolvimento da infraestrutura local focado no potencial turístico, com o surgimento de diversos hotéis, restaurantes, companhias de turismo, entre outros. Segundo Silva e Soriano-Sierra (2013), o mercado turístico tem sido estudado para organizar as áreas costeiras deste tipo de destino, tendo como objetivo: princípios da sustentabilidade e promoção do turismo de qualidade. No entanto, a falta de planejamento do uso e ocupação das regiões costeiras prejudica demasiadamente seu potencial turístico.

Em virtude dos cenários previsionais de aumento relativo do NMM, a avaliação da vulnerabilidade a esse processo é ferramenta fundamental para identificar áreas mais suscetíveis a desastres naturais e antecipar impactos geoambientais e socioeconômicos em áreas litorâneas, onde estão instaladas importantes cidades e, conseqüentemente, atividades antrópicas. Apesar disso, a maioria dos municípios costeiros ainda não possui ferramentas de gestão de desastres naturais, sobretudo da erosão costeira e dos prejuízos socioeconômicos e ambientais decorrentes. Nesse sentido, a elaboração do mapa de vulnerabilidade costeira tem grande aplicabilidade, por identificar áreas prioritárias para intervenções de prevenção e/ou mitigação de impactos provocados por desastres naturais (Santos *et al.*, 2015).

As zonas costeiras também são altamente vulneráveis a perigos antrópicos, destacando-se o derrame de óleo (Santos

e Andrade, 2009), que pode causar prejuízos ao ambiente e a sociedade afetada (Kankara *et al.*, 2016). O derrame de derivados de petróleo é um assunto que tem gerado grande preocupação no gerenciamento costeiro, pois são eventos que causam severos danos a essas zonas (Frazão Santos *et al.*, 2013), dado o tempo de permanência nos ecossistemas costeiros e a dificuldade de remoção desses poluentes. Há uma gama de fatores que determinam a magnitude e significância dos impactos, sendo os principais: o tipo de ambiente costeiro, os recursos biológicos presentes, o grau de ocupação e a dependência econômica.

Ferramentas que integram essas informações são essenciais para a prevenção, avaliação, e gerenciamento desse risco. Nesse contexto, surgem os mapas de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo (Cartas SAO), que tem como objetivo subsidiar as ações das equipes de resposta para reduzir os impactos ambientais durante o incidente, além de poderem ser usados por gestores na identificação de áreas vulneráveis, no estabelecimento de medidas prioritárias de proteção e na identificação de estratégias de resposta (Petersen *et al.*, 2019).

Os mapas de sensibilidade ambiental são compostos por três tipos de informações básicas (Santos e Andrade, 2009; Petersen *et al.*, 2019): classificação da linha de costa, recursos biológicos e atividades socioeconômicas desenvolvidas. O mapeamento da sensibilidade costeira é de fundamental importância, por ser utilizado como um instrumento de suporte no desenvolvimento de medidas de mitigação e reposta ao derrame de óleo (Andrade *et al.*, 2018).

Segundo Nicolodi e Petermann (2010), a linha de costa paraense se caracteriza por sua forma irregular e aspecto de litoral afogado pela transgressão marinha, caracterizado pela sucessão de estuários e acréscimos sedimentares, razão pela qual é formado por diversas “reentrâncias”, muitas das quais resultam da progradação de depósitos lamosos que, desse modo, formam feições alongadas de orientações quase perpendicular à costa. Para Muehe e Nicolodi (2008) essa região, corresponde a um segmento altamente energético, com grande mobilidade sedimentar, fortemente influenciado pela intensa descarga hídrica e sedimentar do rio Amazonas e pelos fatores hidrodinâmicos do setor oceânico, ressaltando a ação das macro e mesomarés semidiurnas.

Desse modo, a linha de costa paraense é um setor com características fisiográficas peculiares, como macro e mesomarés semidiurnas, morfologia recortada por uma série de baías e estuários e proeminência de ecossistemas importantes

do ponto de vista ecológico e socioeconômico, como praias, restingas e manguezais.

As características fisiográficas e hidrodinâmicas da linha de costa proporcionaram excelentes condições para o estabelecimento de instalações portuárias, como os portos organizados de Belém e Vila do Conde, o Terminal Portuário de Outeiro e o Terminal Petroquímico de Miramar, os quais respondem por intensa movimentação de cargas inflamáveis - líquidas e gasosas - em grande parte consumida em Belém, mas que também são transportadas para parte do interior do Estado, através de cursos fluviais.

No contexto supracitado, destaca-se a Ilha de Mosqueiro (Belém-PA), que conta com um contingente populacional de aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE, 2010) e sua ocupação litorânea é baseada predominantemente por residências e comércios ligados ao turismo. Segundo Nóbrega (2010), a ilha apresenta grande potencial turístico, sendo visitada por cerca de 300 mil pessoas no período das férias escolares de julho.

Contudo, vários trechos ao longo de sua orla estão submetidos à forte ação erosiva, que está prejudicando o turismo e a infraestrutura urbana, com prejuízos socioeconômicos. Além disso, a Ilha de Mosqueiro está potencialmente vulnerável a ameaças de poluição/contaminação por derivados de petróleo, pois está situada em uma área de influência direta do complexo portuário de Belém, o que remete a constante tráfego e fundeio de embarcações, dos mais variados portes, sobretudo adjacente ao litoral noroeste da Ilha.

Diante do exposto, este trabalho objetivou contribuir para a definição e mapeamento da vulnerabilidade costeira da Ilha de Mosqueiro e, também, subsidiar a gestão costeira integrada, realizando o diagnóstico da vulnerabilidade aos incidentes que envolvam derrame de óleo e, também, o prognóstico da vulnerabilidade à inundação.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Ilha de Mosqueiro é um distrito administrativo do Município de Belém (Distrito Administrativo de Mosqueiro - DAMOS). Está situada ao norte da cidade de Belém, entre as coordenadas 01°03'S e 01°14'S e 48°29'W e 48°18'W (Figura 1), mais precisamente na margem oriental do rio Pará, margeada pelo estuário homônimo. O acesso à ilha se dá, a partir de Belém, por via fluvial pela Baía de Guajará ou via rodoviária, através da BR-316 e, em seguida pela rodovia PA-391.

Ocupa uma área aproximada de 208 km², sendo a maior das 39 ilhas que compõem o município de Belém. Segundo o Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, a população residente na ilha está concentrada na porção NW da mesma e concentra aproximadamente 30 mil habitantes distribuídos em 20 bairros.

2.1 Características ambientais

De acordo com Behling e Costa (2004), a Ilha é constituída principalmente por sedimentos da Formação Barreiras, que estão expostos nas falésias e ao longo das margens. A sequência da seção ascendente de sedimentos compreende em argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados. Com grande parte da sequência sofrendo laterização, formando um perfil laterítico imaturo. No topo do perfil, se desenvolve uma ampla cobertura de latossolo

amarelo, que constitui o principal material do afloramento.

Desta forma, a Ilha é formada sobre sedimentos continentais, principalmente fluviais, provavelmente depositados durante o final do Mioceno ou até mesmo durante o Plioceno em condições úmidas. Durante o Pleistoceno, sofreram intemperismo tropical, que levou à formação de perfis lateríticos imaturos e, posteriormente, latossolos e podzóis arenosos, produtos do clima tropical quente e úmido (Behling e Costa, 2004).

De acordo com os dados de Meteoblue (2017), as ondas são de baixa intensidade e altura, visto que a altura máxima identificada foi de 0,55 m, com média em torno de 0,4 m. Apesar de toda ilha apresentar pequena altura de ondas, ressalva-se que no setor SW a frequência e altura de ondas é insignificante, devido ser uma região abrigada da ação de ventos.

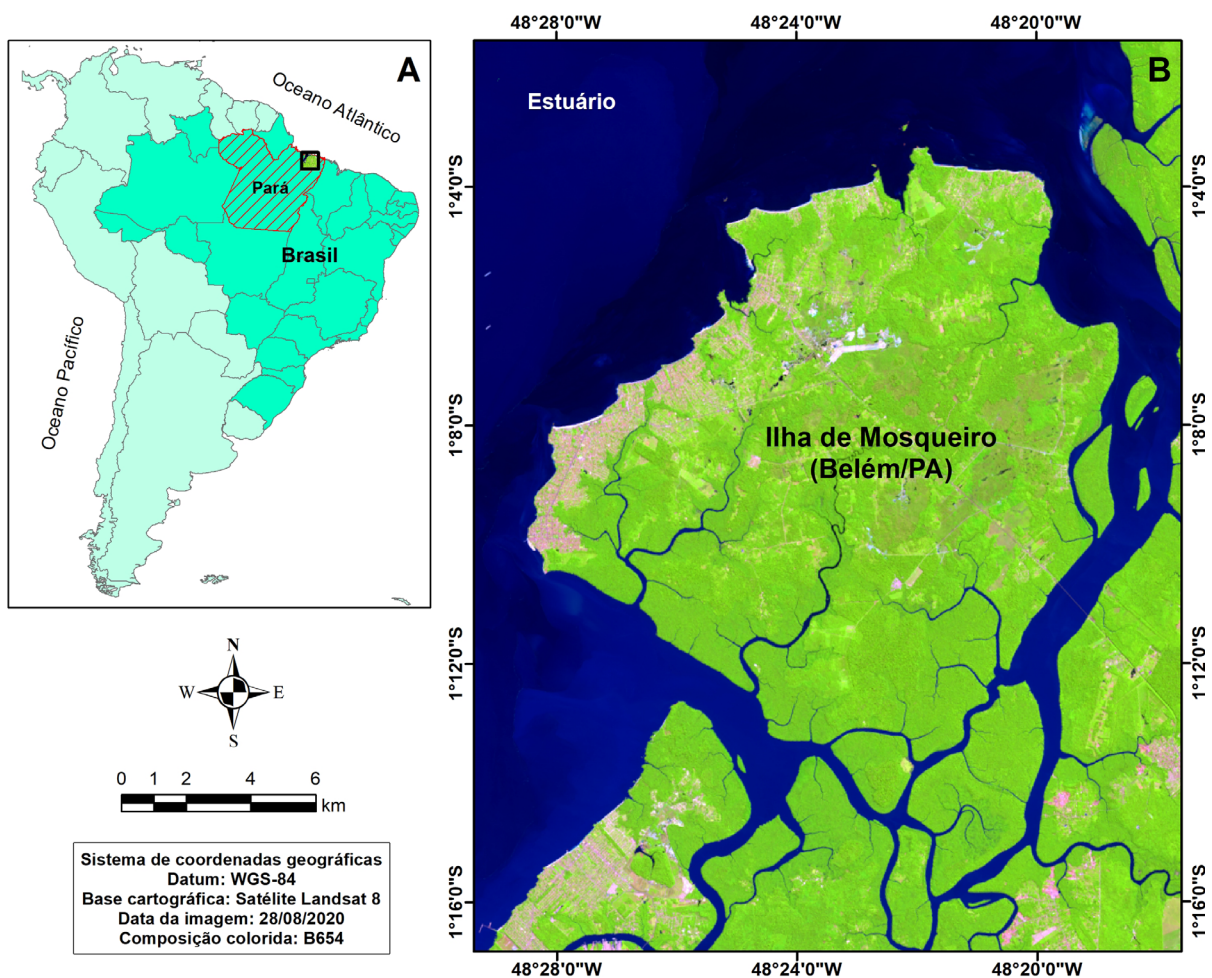


Figura 1: A) Localização da área de estudo. B) Imagem detalhando a fisiografia da Ilha de Mosqueiro.

3. METODOLOGIA

3.1 Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)

O IVC foi projetado para sinalizar segmentos costeiros de alta vulnerabilidade, no qual foram combinados diversos fatores de riscos individuais em um único índice. Desse modo, permitiu identificar as áreas potencialmente afetadas por danos relativos a mudanças climáticas, principalmente pelo aumento do nível de inundação costeira. Assim, foram utilizados dois tipos de IVC:

- i. IVC Padrão, o qual leva em consideração seis variáveis (Tabela 1);
- ii. IVC-DDP, que acrescenta ao IVC variáveis pertinentes à sensibilidade ao derramamento de derivados de hidrocarbonetos. Leva em consideração quatro variáveis (Tabela 1): As variáveis de altura significativa de ondas, amplitude de maré, declividade e geomorfologia foram excluídas do IVC-DDP, por estarem inseridas no Índice de

Sensibilidade do Litoral (ISL) e devido ao IVC-DDP realizar uma análise atual, os cenários de aumento relativo do NMM também foram retirados.

O cálculo do IVC-Padrão consiste na normalização e posterior utilização média aritmética simples. Enquanto que para o IVC-DDP, por ser uma metodologia inédita, foi integrada uma Análise Hierárquica Pareada (AHP) descrita por Saaty (1980), de modo a atribuir diferentes pesos às suas variáveis. As fórmulas usadas para calcular os dois índices estão evidenciadas na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta a síntese das variáveis propostas, bem como os autores utilizados para realizar o repartimento dos valores de cada variável, distribuindo-os nos intervalos de cinco classes de vulnerabilidade consideradas (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta), como proposto por Gornitz (1991).

Os procedimentos metodológicos adotados para a determinação de cada variável estão descritos a seguir.

Tabela 1. Variáveis físicas, hidrodinâmicas e antrópicas componentes dos Índices de Vulnerabilidade Costeira.

Número	Variáveis	IVC-Padrão	IVC-DDP
1	Altura significativa de ondas	X	
2	Amplitude de maré	X	
3	Cenários de aumento relativo do Nível Médio do Mar	X	
4	Declividade	X	
5	Geomorfologia	X	
6	Índice de Sensibilidade do Litoral		X
7	Urbanização		X
8	Variação da Linha de Costa	X	X
9	Vegetação		X

Tabela 2. Fórmulas aplicadas aos índices de vulnerabilidade costeira.

Índice	Fórmula
IVC-Padrão (Índice de Vulnerabilidade Costeira Padrão)	$\frac{a + b + c + d + e + f}{6}$
IVC-DDP (Índice de Vulnerabilidade Costeira ao Derrame de Derivados de Petróleo)	$f^*(\text{peso}) + g^*(\text{peso}) + i^*(\text{peso}) + j^*(\text{peso})$

a: Altura significativa de ondas, b: Amplitude de maré, c: Cenários de aumento relativo do nível médio do mar, d: Declividade, e: Geomorfologia, f: Variação da linha de costa, g: Urbanização, i: Vegetação, j: Índice de sensibilidade do litoral

Tabela 3. Classes de vulnerabilidade do IVC.

RANKING DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA							
VULNERABILIDADE			MUITO BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	MUITO ALTA
Valores			1	2	3	4	5
Variáveis	Referências de intervalos de análise	Unidade	Intervalo				
Altura significativa de ondas	Thieler e Hammar-Kloser (1999)	m	0 - 0,55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	> 1.25
Amplitude de maré	Gornitz (1991)	m	< 0.99	1.0 - 1.9	2.0 - 4.0	4.1 - 6	> 6.1
Cenários de aumento relativo do NMM	IPCC (2014)	-	-	-	RPC 2.6	RPC 4.5	RPC 8.5
Declividade da costa	EMBRAPA (2003)	%	> 45	45 - 20	20 - 08	08 - 03	03 - 00
Geomorfologia	Sales (2005)	-	Tabuleiros Pleistocênicos	-	Praias	-	Planícies Inundáveis
ISL	MMA (2004)	-	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10
Urbanização	Busman (2016)	-	Ausente	-	-	-	Presente
Variação da linha de costa	-	m	-	-	0	-	-
			Acréscimo		Estável	Erosão	
Vegetação	Busman (2016)	-	Solos expostos	-	-	-	Mangue e Floresta de Várzea

3.1.1 Altura significativa de onda

As informações sobre esta variável foram obtidas através de Meteoblue (2017), que realiza uma análise de dados de modelagem computacional, cuja metodologia se baseia na Nonhydrostatic Meso-Scale Modelling.

3.1.2 Amplitude de maré

Estas informações foram disponibilizadas e coletadas através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2019), que realiza previsões sobre a altura de maré na área de influência da Ilha de Mosqueiro. Após a aquisição foi efetuado o processamento e análise estatística dos dados referentes ao período 2005- 2016, para a obtenção da média, moda, valor máximo e mínimo das marés de sizígia (maiores amplitudes).

3.1.3 Cenários de aumento relativo do nível médio do mar

Foram usados os dados do IPCC (2014), com cenários organizados conforme os Representative Concentration Pathways (RCP), que indicam a forçante radiativa possível de acontecer até o ano de 2100. Estes cenários foram divididos em: I) 2.6W/m² – prever aumento do NMM nível entre 26 e 55 centímetros; II) 4.5W/m² – prever aumento do NMM nível entre 32 e 62 centímetros; III) 6.0W/m² – prever aumento do NMM nível entre 33 e 63 centímetros; IV) 8.5W/m² – prever aumento do NMM nível entre 45 e 82 centímetros.

Para calcular o IVC, foram utilizados três cenários de aumento relativo do NMM (RCP 2.6; RCP 4.5 e RCP 8.5), excluindo-se o RCP 6.0, pois apresenta projeção muito semelhante ao RCP 4.5. Cada RCP foi trabalhado separadamente, para que fosse expressa a vulnerabilidade da ilha à cada cenário, de modo que receberam as seguintes classificações de vulnerabilidade: média (RCP 2.6), alta (RCP 4.5) e muito alta (RCP 8.5).

3.1.4 Declividade da costa

A declividade foi analisada em uma faixa de 30 m a partir da linha de costa. O levantamento da declividade foi gerado a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborado com o uso de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), adquirido no projeto TOPODATA (INPE, 2020). Todos esses dados foram processados em ambiente SIG. Os intervalos das classes de declividade foram baseados em EMBRAPA (2003).

3.1.5 Geomorfologia

As classes de Geomorfologia foram baseadas em Sales (2005), que retratou a geomorfologia de toda a Ilha de Mosqueiro. Este autor dividiu a ilha em três unidades geomorfológicas: tabuleiros pleistocênicos, praias e planícies inundáveis. Desse modo, cada unidade geomorfológica recebeu um valor distinto de vulnerabilidade, considerando seu período de inundação. Os tabuleiros pleistocênicos receberam a menor vulnerabilidade,

pois não há influência da maré nessa região; enquanto que as planícies inundáveis receberam o maior nível de vulnerabilidade, devido a ficarem submersas a cada ciclo de maré. As praias obtiveram um nível intermediário de vulnerabilidade (médio).

3.1.6 Índice de sensibilidade do litoral (ISL)

O ISL é utilizado para determinar o grau de impacto e permanência do óleo derramado, assim como, em muitos casos, para os tipos de procedimento de limpeza passíveis de serem empregados (MMA, 2004). Através de informações adquiridas de Parente *et al.* (2016), os dados de sensibilidade do litoral de Mosqueiro foram analisados.

Com o intuito de usar o ISL no cálculo do IVC-DDP, foi realizado uma simplificação de suas classes com finalidade exclusiva de ajuste para utilização neste modelo. Desse modo, suas dez classes de sensibilidade foram convertidas em cinco, de modo que o ISL 1 e 2 foram transformados na primeira classe (vulnerabilidade muito baixa), o ISL 3 e 4, na segunda classe de vulnerabilidade (vulnerabilidade baixa), o que ocorreu sucessivamente até o número de classes fosse reduzido de dez para cinco.

3.1.7 Urbanização

A técnica descrita por Busman (2016) foi usada nesse estudo, que classifica a urbanização em duas medidas: i) grau de maior vulnerabilidade, quando há presença de uso e ocupação; ii) grau de menor, quando não existe infraestrutura urbana. A classificação da área de estudo foi realizada através da fotointerpretação de imagens de sensores ópticos adquiridas no software Google Earth Pro.

3.1.8 Variação da linha de costa (VLC)

O procedimento utilizado nessa etapa foi dividido em seis estágios distintos, apresentados na figura 02, conforme proposto por Araújo *et al.* (2009).



Figura 2. Etapas da metodologia empregada para análise da VLC.

Imagens de satélite adquiridas no software Google Earth Pro foram analisadas com o intuito de realizar a digitalização da linha de costa para os anos de 2003, 2006, 2010, 2012, 2013 e 2015. Devido à indisponibilidade de imagens que cobrissem

toda ilha, optou-se por dividi-la em setores (Figura 3) para que fossem analisados de forma independente, de modo a não comprometer o resultado.

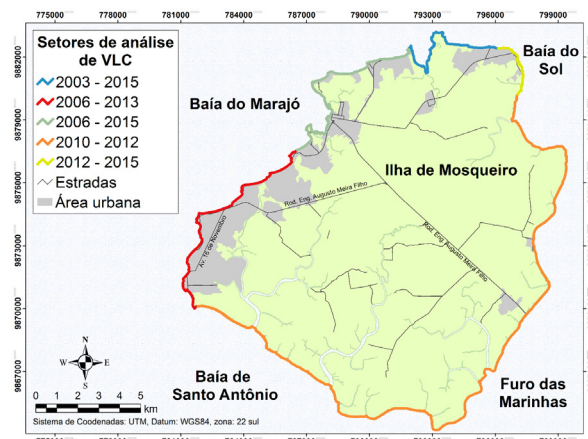


Figura 3. Representação dos períodos e setores analisados a partir da Variação da Linha de Costa (VLC).

A linha de costa foi vetorizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica. A definição da linha de costa seguiu o método de Mazzer e Dillenburg (2009), no qual é adotado o critério da linha de preamar média, que é determinada pela linha de substratos secos/substratos molhados, que segundo Leatherman (2003) representa melhor as posições de máximas variações durante o dia da obtenção da aerofoto, minimizando erros de variações diurnas.

3.1.9 Vegetação

A elaboração do mapa de vegetação ocorreu por meio da classificação de imagens adquiridas do software Google Earth Pro. Optou-se por utilizar os graus de vulnerabilidade propostos por Busman (2016), que divide os ambientes em dois grupos: i) maior vulnerabilidade (áreas que havia presença de vegetação nativa); ii) menor vulnerabilidade (áreas com supressão vegetal, onde prevaleciam solos expostos).

3.2 Tratamento em ambiente de sistema de informações geográficas

Os dados e informações adquiridas foram tratados em ambiente SIG (ArcGIS® 10.1), onde foram modelados e organizados. As variáveis físicas, hidrodinâmicas e antrópicas foram mapeadas para a faixa costeira por meio de *smartline*, como realizado por Busman (2016).

Após a elaboração em *smartline*, os mapas foram combinados por meio de álgebra de mapas, para elaboração dos mapas

de diagnóstico da vulnerabilidade costeira e, posteriormente, a combinação com os cenários de RCP, para elaboração dos mapas de prognóstico da vulnerabilidade costeira.

3.3 Ponderação das variáveis

Essa etapa foi aplicada somente ao processo do IVC-DDP. Para a determinação dos pesos de cada variável foi utilizado o método de AHP, onde cada fator é comparado aos demais por meio de uma matriz, levando-se em conta a importância relativa para a vulnerabilidade costeira. Foi utilizada a escala fundamental de Saaty (1980) que estabelece as relações qualitativas

A comparação entre as variáveis de mesma importância adquire valores iguais, variáveis de importância menor em relação a outro adquirem valores menores que um e variáveis de maior significância em relação ao seu par obtêm valores maiores que um.

O cálculo dos pesos de prioridade relativa resultantes da matriz indica a importância dos fatores em relação aos demais (Tabela 04). Baseados no resultado da Razão de Consistência (RC), pode-se considerar essa AHP válida, pois atende o requisito de Saaty de que uma consistência aceitável deve ser menor ou igual a 0.1.

A análise hierárquica é um processo subjetivo, por levar em consideração a experiência e o conhecimento do operador. Porém, segundo Pereira (2005), a consulta de especialistas sobre o tema abordado é responsável por diminuir a subjetividade e aumentar o aporte científico da tomada de decisão. Nesse contexto, foi realizada consulta com diversos pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, onde cada pesquisador recebeu uma planilha para serem elencadas as variáveis mais críticas, justificando sua escolha. De posse destes dados, foi realizada a AHP com o mínimo de tendência nos valores.

Tabela 4. Resultados da ponderação realizada.

Variáveis	Prioridade relativa
ISL	0.15008
Urbanização	0.43508
VLC	0.30921
Vegetação	0.10563
Razão de Consistência	0.04527

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Amplitude de maré

Através da análise estatística sobre os dados de maré, foi possível observar que a Ilha de Mosqueiro é influenciada pelo regime de mesomares semidiurnas. As maiores amplitudes de marés ocorreram em períodos de lua cheia e nova (marés de sizígia), que oscilaram em torno de 3.80 m. A média envolvendo as amplitudes de cada dia, incluindo as marés de quadratura e de sizígia, ficou em torno de 2.66 m. O valor de amplitude mais recorrente foi de 2.9 m.

Quanto a análise da vulnerabilidade, pode-se notar que cerca de 90% de todas as amplitudes de maré foram enquadradas na classe de média vulnerabilidade (figura 04). Uma vez que a ilha apresentou dominância de amplitudes de maré que variaram de 2 a 4 m (mesomaré), optou-se por desconsiderar os valores abaixo de 2 m. Tendo em vista o pior cenário classificado, todo o perímetro estudado recebeu classificação de média vulnerabilidade.

Segundo Tano *et al.* (2016) a alta exposição da região costeira à influência do regime de maré pode agravar a erosão e a inundação costeira, levando a ocorrência de sérios danos à infraestrutura local.

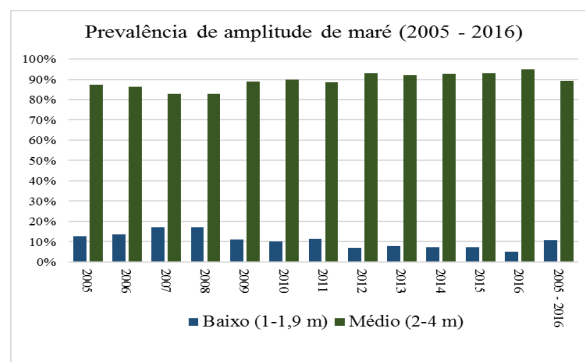


Figura 4. Prevalência de amplitudes de maré, entre os anos de 2005 e 2016 (DHN,2019).

4.2 Declividade da costa

A maior parte da Ilha de Mosqueiro (52%) apresentou declividade variando de 3 a 8% (suave-ondulado), enquanto que apenas 0.58% foi registrado como “forte-ondulado”. As classes “montanhoso” e “escarpado” (declividades acima de 45%) não foram registradas na ilha. Regiões de maior declividade (ondulado e forte-ondulado) foram concentradas

no setor central a ilha, associadas às regiões de maior altitude. Declividades de 0 a 8% somaram cerca de 82% (163.21 km²) da extensão total, e foram distribuídas por toda ilha. A Figura 5 apresenta o mapa de declividade da ilha de Mosqueiro com base nas classes de declividade de EMBRAPA (2003).

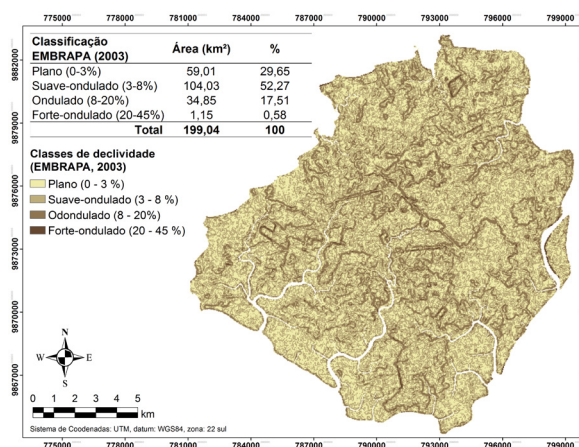


Figura 5. Mapa de declividade da Ilha de Mosqueiro, elaborado a partir de dados extraídos do SRTM e classificados de acordo com Embrapa (2003).

A declividade do litoral apresentou apenas duas classes: suave-ondulado e ondulado, que perfizeram, respectivamente, 44 e 54% do perímetro total mapeado, enquanto que apenas 2% do litoral foi registrado como relevo plano (0 - 3%). A Figura 6 evidencia a distribuição da declividade do litoral oeste da ilha.

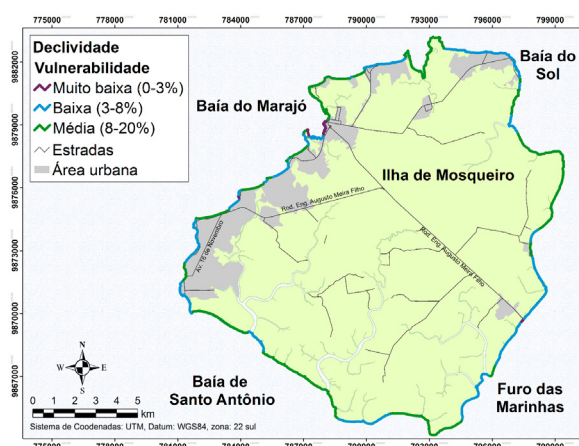


Figura 6. Classificação da vulnerabilidade quanto a declividade costeira, de acordo com dados extraídos do SRTM.

4.3 Geomorfologia

Cerca de 20% (16 km) da linha de costa foi caracterizada como tabuleiros pleistocênicos, 60% como planícies inundáveis e cerca

de 20% como praias. Devido aos tabuleiros não sofrerem a ação das marés, por estarem localizados em uma zona de altitude elevada (>10 m), receberam o grau de menor vulnerabilidade (muito baixa). As planícies de inundação são ambientes que periodicamente inundam com o ciclo de maré e, desse modo, são submetidas diariamente a períodos de inundação, sendo enquadradas no grau de maior vulnerabilidade (muito alta). As praias receberam o grau de vulnerabilidade intermediário (médio).

Os tabuleiros e as planícies estão distribuídos por todo o perímetro estudado (Figura 7), sendo que estas últimas foram associadas com a floresta de várzea e o manguezal, ambientes adaptados ao regime de inundação por maré, e caso sejam permanentemente inundados ou ocorra um derrame de óleo, sofrerão danos irreparáveis tanto à flora como a fauna abrigada. As praias foram registradas apenas no setor NW da ilha, sendo associadas com a mancha urbana da ilha.

Vale ressaltar que ambientes que apresentam uma larga zona de intermaré estão associados com altas amplitudes de maré (McLaughlin e Cooper, 2011) e são responsáveis por terem uma tendência a sofrer os maiores danos gerados por um incidente.

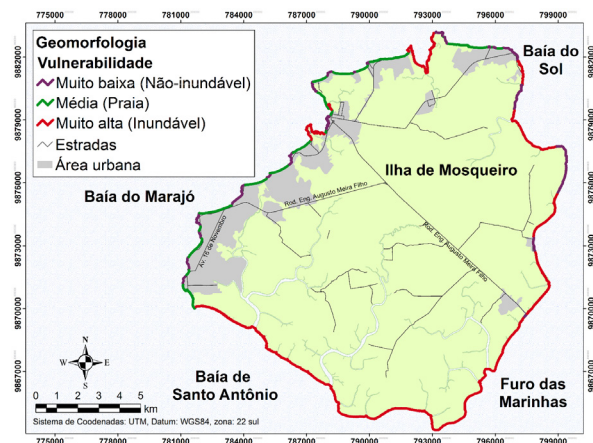


Figura 7. Mapa de classificação da vulnerabilidade da geomorfologia costeira, baseado em Sales (2005) e em informações adquiridas em campo.

4.4 Índice de sensibilidade do litoral

A maior parte do perímetro estudado, cerca de 60% (48 km), recebeu a classe de maior vulnerabilidade e foi concentrado no setor abrigado da ilha (SE). Isso ocorre pelo fato de que essa região não é habitada e, desse modo, preservando a mata virgem da região, planície inundável contendo floresta de várzea. No setor NW, a classe que se mostrou com maior prevalência foi o de baixa vulnerabilidade, pois as praias, que perfazem

um total de 20,6 km, estão contidas nesse grupo. A classe de menor vulnerabilidade, representada em grande parte pelas estruturas artificiais, se concentrou, principalmente, no setor NW, totalizando cerca de 10% do perímetro total (Figura 8).

Segundo MMA (2004), nos ambientes de muito baixa vulnerabilidade não há a penetração do óleo e sua remoção tende a ser rápida; para os de baixa vulnerabilidade (formado pelas praias) o óleo pode penetrar até 25 cm no substrato e sua remoção se torna mais difícil; no caso nos ambientes de média vulnerabilidade o óleo pode percolar até 1 m e sua limpeza é dificultada pela baixa trafegabilidade; já nos ambientes classificados como muito alta vulnerabilidade ocorre uma alta intoxicação da biota presente e a limpeza se torna impraticável pelo substrato lamoso presente.

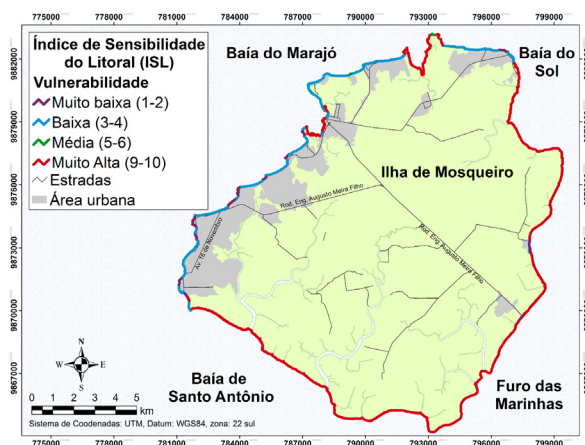


Figura 8. Mapa do ISL adaptado para o cálculo do IVC-DDP, elaborado de acordo com informações adquiridas em Parente *et al.* (2016).

4.5 Urbanização

Concentrada na face NW da ilha, a qual apresentou algum tipo de atividade antrópica associada, em sua maioria, à economia da ilha, como o turismo e a pesca. Essas atividades perfizeram aproximadamente 35% (27 km) da linha de costa. O restante do perímetro, cerca de 65%, não apresentou qualquer tipo de processo de urbanização, estando relativamente livre da ação antrópica.

Como visto na Figura 9, as regiões que apresentaram algum tipo de infraestrutura estão associadas à mancha urbana da ilha, de modo que no litoral da região NW ocorreu, praticamente, o seu predomínio. Em regiões onde não houve o avanço da mancha urbana ou esse aumento foi bastante reduzido, o litoral permaneceu com a vegetação, sem nenhum tipo de atividade antrópica.

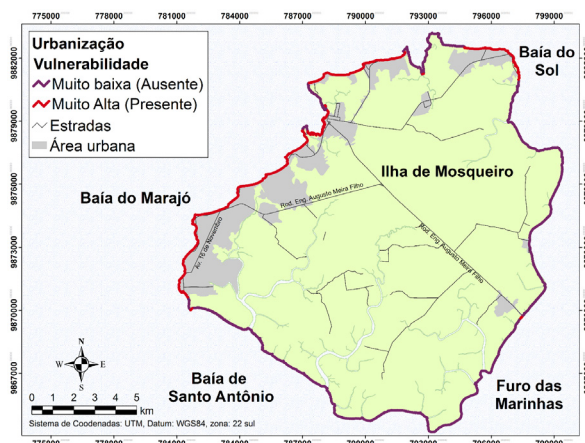


Figura 9. Mapa de classificação da vulnerabilidade da urbanização, elaborado por meio de técnicas de fotointerpretação e de etapas de campo.

4.6 Variação da linha de costa

Constatou-se, que para a escala proposta (1:25.000), não houve variação significativa da linha de costa, ou seja, nos setores estudados, não ocorreu acreção e nem erosão na faixa costeira. Diante disso, a VLC recebeu valor intermediário de vulnerabilidade.

Contudo, em uma escala maior (1:1000), alguns trechos da ilha apresentaram um intenso processo erosivo, como é o caso da orla do Paraíso (Figura 10), que em análises de imagens de 2006 e 2015, ambas no período seco, foi possível registrar processo de retrogradação de aproximadamente 18 m, o que fez com que parte da pista que dá acesso à praia desmoronasse. Assim, como é o caso da orla do Paraíso, diversos outros setores da ilha sofrem esse mesmo processo erosivo, entretanto essa variação é imperceptível na escala de estudo.

Diversos autores (Júnior e França, 2016; Neves e França, 2016; Viana, 2013) atestam que a Ilha de Mosqueiro está sofrendo processo de erosão, sobretudo em sua porção noroeste (zona de maior influência dos processos dinâmicos). Estudos de França (citados acima) mostram que as orlas do Marahú, São Francisco e Orla Grande, apresentam vários indicadores de processos erosivos.

Alguns estudos (El-Robrini, 2001; El-Robrini *et al.*, 2006) atestam que os processos erosivos e de acreção são cíclicos, de modo que no período seco (setembro), as praias da ilha sofrem engordamento, enquanto que na estação chuvosa (março-abril) sofrem retrogradação. Segundo El-Robrini (2001), na praia do Paraíso, o pós-praia passou de 18.5 m no período seco para 6.1 m no período chuvoso.



Figura 10. Linha de costa da orla do Paraíso em dois períodos distintos (2006 e 2015). Fonte de Dados: Imagem adquirida no software Google Earth Pro.

4.7 Vegetação

A porção estudada é composta por aproximadamente 35% (27 km) de solos expostos, que, na verdade, são representados pelas praias, muros de contenção (muros de arrimo) e setores que sofreram o processo de desmatamento advindo da expansão urbana. Cerca de 65% do perímetro permaneceu com vegetação, representada pela floresta de várzea.

As porções de vegetação foram encontradas em todo o setor abrigado e em apenas três localidades da região oeste da ilha, todas em pequenas reentrâncias de rios, onde não ocorreu o processo tão marcante da expansão urbana. As regiões de menor vulnerabilidade, quanto à vegetação, estão associadas às praias e ao seu entorno, visto que são consideradas áreas de lazer e recreação, o que levou a um processo de urbanização mais acentuado e, por consequência, um maior desmatamento. A Figura 11 mostra a distribuição dessa vulnerabilidade.

4.8 Índice de vulnerabilidade costeira ao derrame de derivados de petróleo (IVC-DDP)

O IVC-DDP (figura 12) apresentou cerca de 60% (46 km) de linha de costa, sendo classificado como baixa vulnerabilidade, concentrado nos setores SW e SE da ilha. O setor NW apresentou, aproximadamente, 30% de perímetro identificado com vulnerabilidade média. As classes muito baixa e alta vulnerabilidade foram pontuais, perfazendo 5% cada uma, de modo que apareceram apenas em quatro regiões do setor NW da ilha.

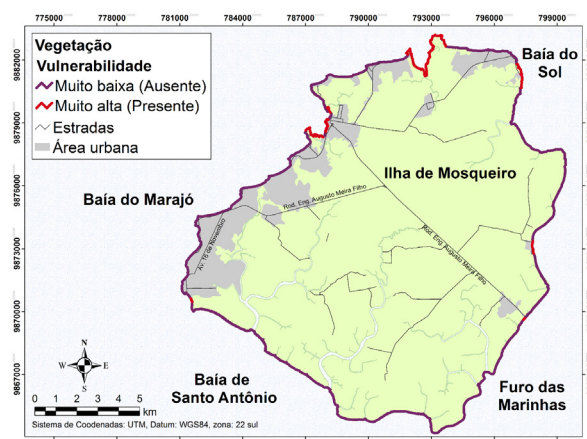


Figura 11. Mapa de classificação da vulnerabilidade da vegetação costeira, elaborado por meio de técnicas de fotointerpretação e de etapas de campo.

As regiões classificadas com baixa vulnerabilidade não apresentam qualquer processo de urbanização, contando apenas com a vegetação nativa da ilha que apesar de possuir elevada importância ecológica, que para a definição desse índice tem abrangência menor em relação às atividades antrópicas.

Os setores que concentraram a mancha urbana receberam o grau médio de vulnerabilidade, apesar deste possuir o maior peso na ponderação (43%). As demais variáveis pertinentes ao cálculo (ISL, VLC e vegetação) apresentaram baixos valores.

De acordo com Andrade *et al.* (2010), a história da região amazônica é baseada em um relacionamento de longo tempo com estuários, onde complexos portuários e indústrias vem se estabelecendo junto a áreas residenciais, provocando um intenso fluxo de embarcações. Como exemplo tem-se o litoral NW da ilha de Mosqueiro, que apresenta intensa movimentação de embarcações e também é uma zona de fundeio para navios que adentram os portos de Belém e Vila do Conde, que denota alto risco a incidentes que envolvam derrame de óleo.

4.9 Índice de vulnerabilidade costeira

Em todos os cenários de aumento do NMM, o IVC não ultrapassou a classe de média vulnerabilidade (Figura 13). Para o cenário mais otimista (RCP 2.6), cerca de 32% da linha de costa foi classificada como baixa vulnerabilidade, o restante se enquadrando na classe de média. No cenário RCP 4.5 houve um pequeno aumento da classe de média vulnerabilidade, cerca de 13%, em detrimento a baixa vulnerabilidade. O cenário mais pessimista (RCP 8.5) apresentou cerca de 90% da ilha com vulnerabilidade média e o remanescente foi classificado como baixa vulnerabilidade.

As classes mais altas de vulnerabilidade, para todos os cenários, se concentraram principalmente nos setores SW e

SE, enquanto que as regiões de vulnerabilidade baixa foram localizadas no setor NW. Estes resultados mostram que a variável geomorfologia, por ter sido uma das poucas variáveis que oscilou, foi a responsável pela variação relativa dos IVC's, visto que nos setores SW e SE ocorreu o predomínio de regiões inundáveis (vulnerabilidade muito alta) e no setor NW foram localizados os tabuleiros pleistocênicos e as praias (vulnerabilidade muito baixa e média, respectivamente). As demais variáveis foram consideradas constantes, com exceção da declividade, que obteve a maioria dos valores variando de alta a média vulnerabilidade.

Nesse contexto, a técnica do IVC foi capaz de evidenciar as regiões onde o efeito conjunto de algumas das variáveis influencia diretamente na vulnerabilidade costeira à inundações. Segundo Santos *et al.* (2015), é de suma importância realizar a combinação dessas variáveis nas análises de vulnerabilidade, pois quando estudadas isoladamente, podem não ser suficientes para representar adequadamente a complexa vulnerabilidade costeira. Consequentemente, o uso desses índices para determinação da vulnerabilidade costeira não é somente cientificamente válido, como também são facilmente replicáveis para o uso (Sekovski *et al.*, 2019).

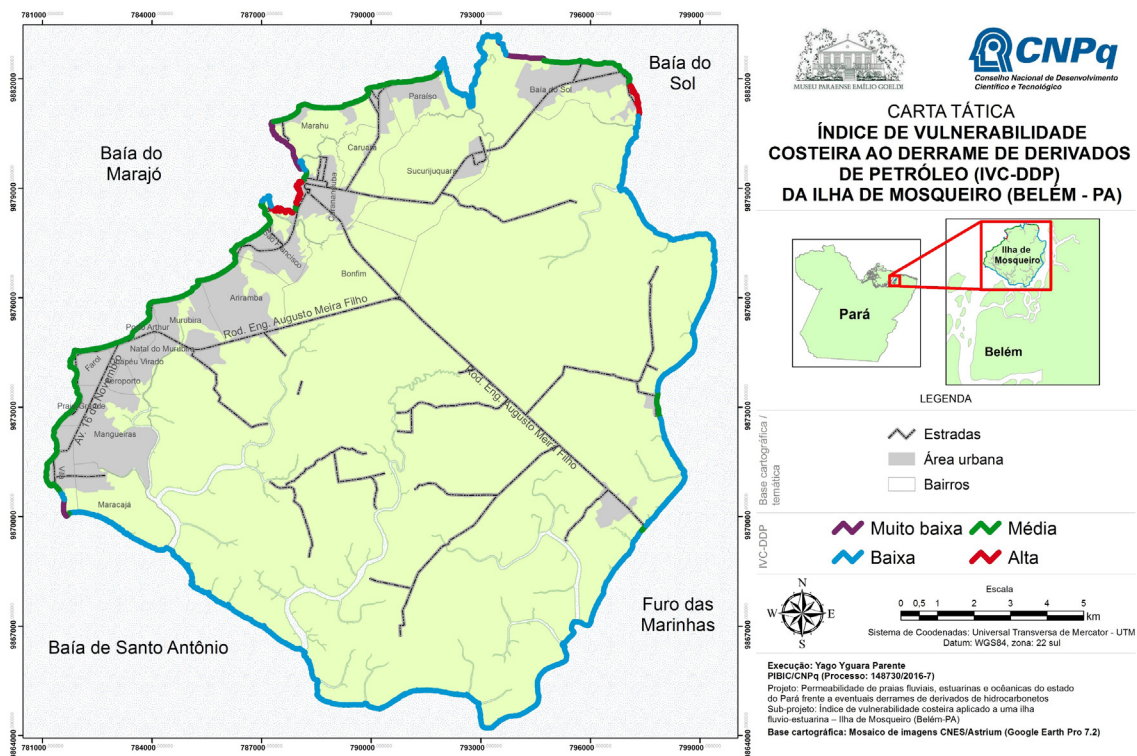


Figura 12: Carta táctica do IVC-DDP para a Ilha de Mosqueiro, com divisão de quatro níveis de vulnerabilidade (Muito Baixa, Baixa, Média e Alta).

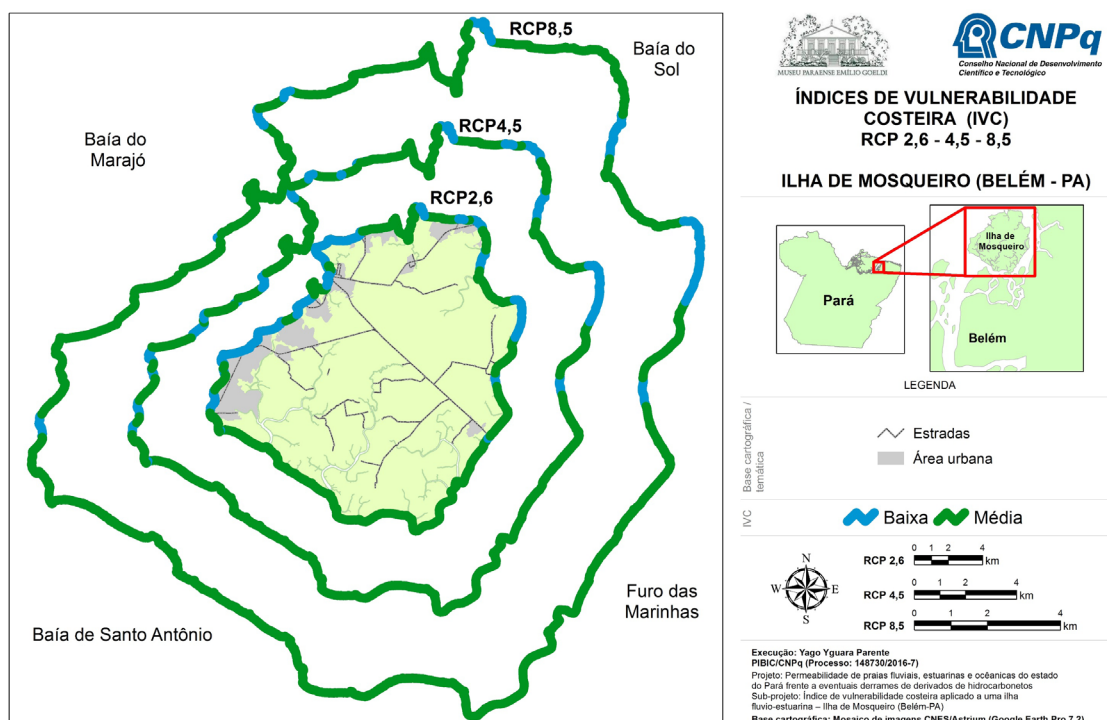


Figura 13: Mapa de IVC-Padrão da ilha de Mosqueiro, com os três cenários de Alto Relativo do Nível Médio do Mar (RCP 2,6; 4,5; 8,5)

5. CONCLUSÕES

Baseado no uso do IVC, foi possível realizar a delimitação dos setores costeiros da ilha de Mosqueiro com diferentes níveis de vulnerabilidade à inundação, seja temporária ou permanente.

A partir da análise do IVC-DDP e de suas variáveis, pode-se constatar que a ilha de Mosqueiro é um ambiente bastante frágil a derrames de óleo, visto que o setor NW apresentou altos valores de vulnerabilidade e que os demais setores, formados por margens inundáveis colonizadas por vegetação de várzea, apesar de possuírem baixos índices de vulnerabilidade, apresentaram altos índices de sensibilidade à derrame de óleo (ISL 10).

Exclusivamente para este estudo, o IVC-DDP se apresentou válido para a determinação da vulnerabilidade à derrames de óleo com enfoque nas atividades antrópicas, de modo que o setor urbanizado (porção NW) adquiriu os maiores valores quando comparados com outros setores da ilha. Todavia é necessário realizar mais testes com este índice, para melhor validar sua aplicabilidade.

Ressalta-se que para a variável VLC a escala proposta (1:25.000) não se mostrou adequada para representação cartográfica dos

reais setores de erosão e acreção da linha de costa, visto que os resultados evidenciam que a região costeira permaneceu estável durante o período estudado (2006 - 2015). Entretanto conforme demonstrado nas citações existentes na literatura, alguns setores da ilha de Mosqueiro estão sofrendo um intenso processo erosivo.

Assim, a Ilha de Mosqueiro apresenta pequeno grau de vulnerabilidade associado à inundação, entretanto alto grau, em relação ao derramamento de óleo. Isso corrobora a importância das informações aqui apresentadas no aprimoramento da gestão ambiental da Ilha de Mosqueiro.

REFERÊNCIAS

- Anders, F. J.; Byrnes, M. R. (1991) - Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial phoytographs. *Shore and Beach* (ISSN: 0037-4237), 59(1): 17-26. Fort Myers, Estados Unidos. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284041608_Accuracy_of_shoreline_change_rates_as_determined_from_maps_and_aerial_photographs.
- Andrade, M.; Souza-Filho, P.; Szlafsztein, C. (2018) - Sensibilidade Ambiental a Derramamento de Óleo e Mapeamento de Unidades

- de Paisagem na Região Portuária do Maranhão. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 18(2): 73-84. DOI: 10.5894/rgci-n65.
- Andrade, M.; Szlafsztein, C.; Souza-Filho, P.; Araújo, A.; Gomes, M. (2010) - A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. *Journal of Environmental Management*, 91(10): 1972-1980. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.04.016.
- Araújo, R. S.; Silva, G. V.; Freitas, D.; Klein, A. H. F. (2009) - Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. In: Alcántara-Cario, J.; Correa, I. D.; Isla, F.; Alvarado, M.; Klein, A. H. F.; Cabrera, J. A. (eds.), *Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales del litoral*, pp. 123-138, Cádiz, Espanha. ISBN: 978-84-96023-67-3. Disponível em: http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/isabel/sist_inf_geogr_aula5/foto_aerea_cap8.pdf.
- Behling, H.; Costa, M. L. (2004) - Mineralogy, geochemistry, and palynology of modern and late Tertiary mangrove deposits in the Barreiras Formation of Mosqueiro Island, northeastern Pará state, eastern Amazonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 17(4): 285-295. DOI: 10.1016/j.jsames.2004.08.002.
- Boori, M. S.; Amaro, V. E. (2011) - Natural and eco-environmental vulnerability assessment through multi-temporal satellite data sets in Apodi valley region, Northeast Brazil. *Journal of Geography and Regional Planning* (ISSN 2070-1845), 4(4): 216-230. Disponível em: http://www.academicjournals.org/article/article1381835162_Boori%20and%20Amaro.pdf.
- Boruff, B. J.; Emrich, C.; Cutter, S. L. (2005) - Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*, 21(5): 932-942. DOI: 10.2112/04-0172.1.
- Brasil. (2008) - *Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil*. 44p., Ministério da Saúde; Pan-Americana da Saúde (org.), Brasília, DF, Brasil. ISBN 978-85-87943-79-8.
- Busman, D. V. (2016) - *Zoneamento da dinâmica costeira - aplicação de geotecnologias em apoio à gestão costeira integrada na praia Atalaia-PA e trecho de praias entre os municípios de Guimarães e Macau-RN, setor sob influência da indústria petrolífera*. 185p., Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- Cristiano, S. da C. C.; Portz, L. C.; Anfuso, G.; Rockett, G. C.; Barboza, E. G. (2018) - Coastal scenic evaluation at Santa Catarina (Brazil): Implications for coastal management. *Ocean and Coastal Management*, 160: 146-157. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.04.004.
- Crowell, M.; Leatherman, S. P.; Buckley, M. K. (1991) - Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3): 839-852. DOI: 10.2307/4297899.
- Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). (2019) - *Previsões de marés*, Brasília, Brasil. In: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>.
- El-Robrini, M. H. S. (2001) - *Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas da Ilha do Mosqueiro (Belém-PA)*. 85p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil.
- El-Robrini, M.; Silva, M. A. M. A.; Souza-Filho, P. W. M.; El-Robrini, M. H. S.; Júnior, O. G. S.; França, C. F. de. (2006) - *Pará*. In: Muehe, D. (org.), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, 476p., Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, DF, Brasil. ISBN 85-7738-028-9.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2003) - *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 286p., EMBRAPA, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN 85-85864-19-2.
- Frazão Santos, C.; Michel, J.; Neves, M.; Janeiro, J.; Andrade, F.; Orbach, M. (2013) - Marine spatial planning and oil spill risk analysis: Finding common grounds. *Marine Pollution Bulletin*. 74(1): 73-81. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.07.029.
- Gornitz V. (1991) - Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3(4): 379-398. DOI: 10.1016/0921-8181(91)90118-G.
- Gornitz, V. M.; Daniels, R. C.; White, T. W.; Birdwell, K. R. (1994) - The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. Southeast. *Journal of Coastal Research*. 10(2): 327-338, Nova Iorque, Estados Unidos. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/25735608>.
- Gorokhovitch, Y.; Leiserowitz, A.; Dugan, D. (2014) - Integrating Coastal Vulnerability and Community-Based subsistence resource mapping in Northwest Alaska. *Journal of Coastal Research*. 30(1): 158-169. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-13-00001.1.
- Hammar-Klose E. S.; Pendleton, E. A.; Thieler, E. R.; Williams, S. J. (2003) - Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise. *U.S. Geological Survey*. Report 02-233. DOI: 10.3133/ofr02233.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2010) - *Dados Censitários 2010*. Brasília, Brasil. In: <http://censo2010.ibge.gov.br/>.
- Instituto de pesquisas espaciais (INPE). (2020) - *Banco de dados Geomorfométricos do Brasil*. Brasília, Brasil. In: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.
- Júnior, J. L. do A. F.; França, C. F. de. (2016) - Caracterização morfológica e dinâmica da orla Grande, Ilha de Mosqueiro, Belém-PA.

- Boletim Amazônico de Geografia* (ISSN: 2358-7040), 3(6): 92-109, Belém, Pará, Brasil. Disponível em: <http://ppgeoufpa.net/boletim/index.php/boletim/article/view/74>.
- Kankara, R. S.; Arockiaraj, S.; Prabhu, K. (2016) - Environmental sensitivity mapping and risk assessment for oil spill along the Chennai Coast in India. *Marine Pollution Bulletin*, 106(1-2): 95-103. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.022.
- Kumar, T.; Srinivasa, M. R. S.; Nayak, S.; Radhakrishnan, K.; Sahu, K. C. (2010) - Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *Journal of Coastal Research*, 26(3): 523-534. DOI: 10.2112/09-1186.1.
- Leatherman S. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. *Journal of Coastal Research*, 38: 5-13. DOI: 10.2307/25736596.
- Mazzer, A. M. (2007) - *Proposta metodológica para análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: aplicação em praias arenosas da costa sudeste da ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina-Brasil)*. 170p., Tese de Doutorado. Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Mazzer, A. M.; Dillenburg, S. (2009) - Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). *Revistas de Pesquisas em Geociências*, 36(1): 117-135. DOI: 10.22456/1807-9806.17880.
- Mclaughlin, S.; Cooper, A. (2011) - A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9(3): 233-248. DOI: 10.3763/ehaz.2010.0052.
- Mello, A. Y. I. de; D'antona, A. de O.; Alves, H. P. da F.; Carmo, R. L. do. (2010) - Análise da Vulnerabilidade Socioambiental nas Áreas Urbanas do Litoral Norte de São Paulo. V *Encontro Nacional da Anppas*, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Meteoblue. (2017) - Weather data. Universidade de Basileia, Basileia, Suíça. In: <https://www.meteoblue.com/>.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2004) - *Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo: cartas SAO*. Secretaria de Qualidade nos Assentamentos Humanos Brasília, DF, Brasil. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/projeto/_arquivos/cartassao2007port.pdf.
- Muehe, D.; Nicolodi, J. L. (2008) - *Geomorfologia*. In: Zamboni, A.; Nicolodi, J. L. (org.), *Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*, pp.23-58, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Brasília. DF, Brasil. ISBN: 9788577381128.
- Neves, S. C. R.; França, C. F. De. (2016) - Indicadores de dinâmica costeira na orla do Maraú - ilha de Mosqueiro, Belém-PA. *Boletim Amazônico de Geografia* (ISSN: 2358-7040), 3(6): 60-18, Belém, Pará, Brasil. Disponível em: <http://ppgeoufpa.net/boletim/index.php/boletim/article/view/72>.
- Nicholls, R. J.; Cazenave, A. (2010) - Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, 328: 1517-1520. DOI: 10.1126/science.1185782.
- Nicolodi, J. L.; Petermann, R. M. (2010) - Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 10(2): 151-177. DOI: 10.5894/rgci206.
- Nóbrega, W. R. de M. (2010) - Participação popular e as políticas públicas de turismo na Amazônia: o Proecotur no Distrito de Mosqueiro, Belém - PA. *Revista turismo & desenvolvimento*, 2(13/14): 783-794. DOI: 10.34624/rtd.v2i13/14.12367.
- Oliveira, E. T. de; Rutkowski, E. W. (2008) - Mudanças climáticas e mudanças socioambientais globais: reflexões sobre alternativas de futuro. 184p., UNESCO/IBICC, Brasília, Brasil.
- Oliveira, J. F.; Barboza, E. G.; Martins, E. M.; Scarelli, F. M. (2019) - Geomorphological and stratigraphic analysis applied to coastal management. *Journal of South American Earth Sciences*, 96. DOI: 10.1016/j.jsames.2019.102358.
- Parente, Y. Y.; Mendes, A. C.; Miranda A. G.; Berredo, J. F. (2016) - Mapeamento da sensibilidade ambiental a para derramamento de óleo (cartas SAO) para a Ilha de Mosqueiro (Belém - PA). In: *II Congresso Amazônico de Meio Ambiente e Energias Renováveis* (ISBN 978-85-5722-005-8), Belém, Pará, Brasil. Disponível em: [https://www.even3.com.br/Anais/camaer2016/31425-mapeamento-da-sensibilidade-ambiental-a-derramamento-de-oleo-\(cartas-sao\)-para-a-ilha-de-mosqueiro-\(belem---pa\)](https://www.even3.com.br/Anais/camaer2016/31425-mapeamento-da-sensibilidade-ambiental-a-derramamento-de-oleo-(cartas-sao)-para-a-ilha-de-mosqueiro-(belem---pa)).
- Pendleton, E. A.; Barras, J. A.; Williams, S. J.; Twichell, D. C. (2010) - Coastal Vulnerability Assessment of the Northern Gulf of Mexico to Sea-Level Rise and Coastal Change. *U.S. Geological Survey. Report Series 2010-1146*. DOI: 10.3133/ofr20101146.
- Pereira, P. De S. (2005) - *Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos*. 161p., Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Petersen, J.; Nelson, D.; Marcella, T.; Michel, J.; Atkinson, M.; White, M.; Boring, C.; Szathmary, L.; Weaver, J. (2019) - Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 4.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 52. Disponível em: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf.
- Saaty, T. L. (1980) - *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. 287p., McGraw-Hill, Nova Iorque, Estados Unidos.

- Sales, G. M. (2005) - *Ecologia da paisagem da ilha do Mosqueiro, NE do estado do Pará*. 119p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, Brasil.
- Santos, C.; Andrade, F. (2009) - Environmental Sensitivity of the Portuguese Coast in the Scope of Oil Spill Events - Comparing Different Assessment Approaches. *Journal of Coastal Research* (ISSN 0749-0258), 1(56): 885-889, Nova Iorque, Estados Unidos. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25737706?seq=1>.
- Santos, M. S. T.; Amaro, V. E.; Ferreira, A. T. Da S.; Barboza, A. De A.; Figueiredo, M. C.; Araújo, A. G. (2015) - Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade costeira à elevação do nível médio do mar (NMM) em escala local. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(4): 691-705. DOI: 10.1590/S1982-21702015000400040.
- Sekovski, I.; Rio, L.; Armaroli, C. (2019) - Development of a coastal vulnerability index using analytical hierarchy process and application to Ravenna province (Italy). *Ocean & Coastal Management*, 183: 1-11. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2019.104982.
- Shaw, J.; Taylor, R. B.; Forbes, D. L.; Ruz, M. H.; Solomon, S. (1998) - Sensitivity of the Canada Coast to Sea-Level Rise. *Geological Survey of Canada Bulletin*. DOI: 10.4095/210075.
- Silva, M. E. M. da; Soriano-Sierra, E. J. (2013) - Gestión sustentable de la orla marítima en destinos turísticos: Una perspectiva social sobre el proyecto ORLA. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 22(5): 805-827. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180728713001>.
- Tano, R.; Aman, A.; Kouadio, K.; Toualy, E.; Ali, K.; Assamoi, P. (2016) - Assessment of the Ivorian Coastal Vulnerability. *Journal of Coastal Research*, 32(6): 1495-1503. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-15-00228.1.
- Thieler, E. R.; Hammar-Klose, E. S. (1999) - National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey. Reston: U.S. Geological Survey. DOI: 10.3133/ofr99593.
- Viana, I. G. da S. (2013) - Estrutura e fisiologia da paisagem da praia do Areião, Ilha de Mosqueiro (Belém-PA). 87p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA EM PRAIAS ARENOSAS AO SUL DE ALAGOAS – BRASIL: SUBSÍDIO PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO EM ZONAS COSTEIRAS

Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida^{@ 1}, Djane Fonseca da Silva², Ramon Salgueiro Cruz³, Arthur Costa Falcão Tavares⁴

RESUMO: É urgente a necessidade de se ampliar o conhecimento sobre o meio físico a fim de se estabelecer diretrizes racionais para utilização de áreas costeiras, visto as previsões de elevação do nível do mar inferidas pelo Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) até o ano de 2100. A presente pesquisa objetivou determinar o nível de vulnerabilidade ambiental do litoral norte do município de Barra de São Miguel/AL, face à elevação do Nível Relativo do Mar, bem como sugerir Limites Terrestres Não Edificantes (LTNE), para a proteção da paisagem e amortecimento da energia das ondas. Os procedimentos metodológicos consistiram em inferir a retrogradação costeira através da Regra de Brunn; estabelecer o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) através da análise de variáveis ambientais; e delimitar o LTNE considerando diretrizes protetivas. Com relação aos resultados obtidos, a retrogradação, mesmo em um cenário otimista e apesar de apresentar alto nível de conservação ambiental, apresentou recuo de 9,12 m. O LTNE demonstrou que o limite prévio de 200 m pode ser adotado futuramente como um valor referência para absorver os impactos futuros gerados pela elevação marinha. Quanto ao IVC, a região foi classificada como altamente vulnerável a ação dos processos erosivos, seja pela remoção dos sedimentos, seja pela retrogradação da costa. Desta forma, foi possível concluir que os resultados obtidos são importantes para compreensão do ambiente costeiro do município de Barra de São Miguel/AL, podendo ser utilizado como fonte norteadora no monitoramento e gerenciamento de regiões costeiras de Alagoas.

Palavras-chave: Vulnerabilidade costeira; Gerenciamento costeiro; Erosão Costeira.

ABSTRACT: There is an urgent need to expand knowledge about the physical environment in order to establish rational guidelines for the use of coastal areas, given the predictions of sea level rise inferred by the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) by the year 2100. The present research aimed to determine the level of environmental vulnerability of the northern coast of the municipality of Barra de São Miguel / AL, in view of the elevation of the Relative Sea Level, as well as to suggest Non-Edifying Terrestrial Limits (LTNE), for the protection of the landscape and damping of wave energy. The methodological procedures consisted of inferring coastal retrogradation through the Brunn Rule; establish the Coastal Vulnerability Index (CVI) through the analysis of environmental variables; and delimit the LTNE considering protective guidelines. Regarding the results obtained, the retrogradation, even in an optimistic scenario and despite presenting a high level of environmental conservation, showed a decrease of 9,12 m. The LTNE demonstrated that the previous limit of 200 m can be adopted in the future as a reference value to absorb the future impacts generated by the marine elevation. As for the CVI, the region was classified as highly vulnerable to the action of erosion processes, either by removing sediments or by retrograding the coast. Thus, it was possible to conclude that the results obtained are important for understanding the coastal environment of the municipality of Barra de São Miguel / AL, and can be used as a guiding source in the monitoring and management of coastal regions of Alagoas.

Keywords: Coastal vulnerability; Coastal management; Coastal erosion.

@ Autor correspondente: henrique.ravi@gmail.com

1 Universidade Federal de Alagoas.

2 Universidade Federal de Alagoas. Email: djane.silva@icat.ufal.br

3 Universidade Federal de Alagoas. Email: ramonsalgueiro@gmail.com

4 Universidade Federal de Alagoas. Email: actavar@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira brasileira corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis e não renováveis, abrangendo uma faixa marítima de 12 milhas náuticas de largura (mar territorial) e uma faixa terrestre de 50 km de largura (Brasil, 1988) e integra o patrimônio nacional, de acordo com a Constituição Federal de 1988.

Como forma de contribuir com a gestão das zonas costeiras e lidar, por exemplo, com os impactos da ocupação urbana e demais atividades antrópicas, alguns importantes instrumentos legais foram estabelecidos, os quais vêm exigindo ações preventivas em face da possibilidade de esgotamento dos recursos nesses ambientes tão sensíveis de imensurável importância (Cavalcante, 2018).

O marco balizador para o Gerenciamento Costeiro no âmbito do território nacional foi instituído através do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC (Lei nº 7.661 de 1988). Em 1997 o PNGC passou por uma revisão e a Resolução CIRM (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar) nº 5, de 3 de dezembro de 1997, aprovou o PNGC II, em vigor até os dias atuais (MMA, 2013). Segundo Cavalcante (2018), essa revisão foi necessária para trazer modificações no sentido de integrar todas as instâncias governamentais na estruturação e execução do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, pois até então, a primeira versão do Plano restringia o campo de atuação da União e dos municípios e deixava grande parte das ações a cargos dos Estados.

Os últimos instrumentos legais foram a publicação do Decreto Federal nº 5.300/04 (Brasil, 2004), que dispõe sobre as regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima; seguido pelo Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada (MMA, 2006). Cabe destacar a proposta metodológica de Scherer (2013), a qual aborda a Gestão de Praias no Brasil.

O planejamento de um espaço tão disputado para as atividades econômicas e para a instalação de cidades, com valores ambientais tão importantes, enfrenta naturalmente uma situação de conflito. Talvez a zona costeira seja uma das regiões brasileiras em que o princípio do desenvolvimento sustentável encontre maiores dificuldades em ser aplicado (Granziera, 2009).

Para preservar esses espaços ambientalmente protegidos, em virtude de sua importância e fragilidade, é comum a avaliação de um território por meio de seu zoneamento, apontado por

Silva e Santos (2004) como a “identificação e a delimitação de unidades ambientais em um determinado espaço físico segundo suas vocações e fragilidades, acertos e conflitos”.

No entanto, é consenso que os zoneamentos são executados sob critérios meramente qualitativos, a partir de modelos estruturados de forma subjetiva, havendo uma demanda de propostas metodológicas que identifiquem zonas a partir da seleção de atributos ambientais mapeáveis (Assis, 2007).

Autores como Bruun (1962), Schwartz (1967), Dean (1991), Pilkey (1993), Manso *et al.* (1995), Gruber (2002), Manso (2012) e Almeida (2018) reconhecem a importância que a interação entre a plataforma rasa e o ambiente praiar representa para o conhecimento e gerenciamento de ambientes costeiros.

Para Oliveira (2009), é possível estabelecer-se um equilíbrio entre a análise morfodinâmica dos processos e das formas, de modo que qualquer alteração no sistema em sequência será refletida no sistema morfológico, através do reajuste das variáveis na busca de um novo equilíbrio, estabelecendo-se uma nova forma. Por outro lado, as alterações ocorridas nas formas podem alterar a maneira pela qual o processo se realiza, produzindo modificações na qualidade dos inputs fornecidos ao sistema morfológico.

Dentre as variáveis modificadoras do sistema morfológico, está a previsão de uma elevação do nível do mar, a qual deve ser considerada no prognóstico de variação da linha de costa em decorrência dos processos erosivos que se intensificaram com o incremento do descongelamento de geleiras e a tendência histórica de elevação da temperatura climática (Muehe, 2004).

O IPCC estimou um cenário pessimista para as regiões litorâneas em função de um aumento do nível do mar, que indica uma elevação acima de 1 m até o ano 2100. De acordo com esta previsão, faixas de absorção de impacto devem ser estabelecidas no sentido de auxiliar o gerenciamento costeiro, mesmo sabendo que este cenário possa não se concretizar, por se tratar de uma estimativa (IPCC, 2019).

Outro aspecto importante e bastante sensível às alterações climáticas nas áreas costeiras é o balanço hídrico (Cavalcante, 2018). As mudanças no regime pluviométrico ocasionam impactos ao ambiente costeiro, tais como a erosão de encostas, o assoreamento de rios e inundações. Além disso, reduções no regime pluviométrico e a consequente diminuição da vazão dos rios podem ocasionar a diminuição do aporte sedimentar na zona costeira, ocasionando desequilíbrio no balanço sedimentar, bem como a salinização dos estuários (Neves e Muehe, 2008).

Ainda, segundo os autores citados, alguns fatores podem estar relacionados aos rápidos processos erosivos, tais como, a ocupação territorial desordenada, exploração de jazidas de areia nos estuários e construção de obras de proteção costeira sem critérios técnicos de engenharia.

Dentro desse contexto, visto a necessidade de ampliar o conhecimento do meio físico para se estabelecer diretrizes racionais de utilização de áreas costeiras frente a exposição às mudanças do clima, e consequente elevação do nível do mar, o presente trabalho objetivou identificar os impactos erosivos ao longo da Praia do Meio, localizada no litoral norte do município da Barra de São Miguel, Alagoas (Nordeste do Brasil).

O trabalho encontra-se estruturado em três pontos principais: (i) definição dos níveis de retrogradação litorânea (zonas de risco erosivo); (ii) categorização do grau de vulnerabilidade da costa a erosão marinha; (iii) e indicação de regiões de preservação da paisagem necessárias ao desenvolvimento da resiliência costeira às mudanças climáticas, em área sem urbanização consolidada no município de Barra de São Miguel.

A praia emersa em questão é limitada geralmente por bermas seguidas por dunas arenosas consolidadas e recobertas por vegetação típica de restinga que se prolongam até a pós-praia, como poáceas, gramíneas, salsas de praia, capim de areia, psamófica herbácea alastrante e arbustiva de pequeno porte (Almeida, 2018).

Em alguns trechos, o sistema definido por Duarte (2002) como talude (escarpa praial) e bermas apresenta zonas erosivas frontais resultantes da dinâmica das ondas durante a preamar de sizígia e/ou de tempestade, retornando a se reconstituir entre estes momentos.

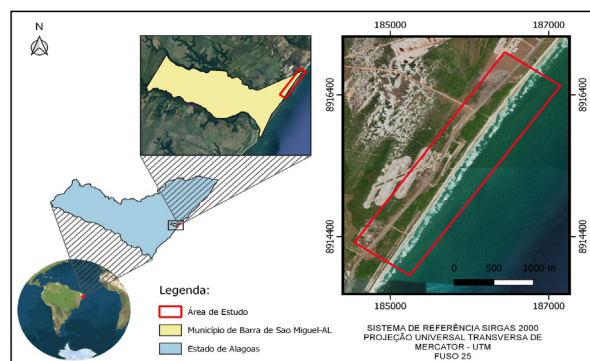


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Autor (2020).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O litoral do município da Barra de São Miguel está localizado a aproximadamente 34 km da cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas e integra o litoral da região metropolitana de Maceió. A Praia do Meio (Figura 1), foco deste estudo, possui extensão longitudinal de costa de 3.3 km e está inserida na região norte do município, limitando-se territorialmente com o município de Marechal Deodoro.

2.1.1 Marés

A amplitude das marés (a diferença de nível entre a preamar e a baixamar) é um elemento modelador da linha de costa, em função das velocidades de correntes a ela associadas. Estas correntes de marés são significativas no transporte sedimentar costeiro especialmente onde a variação da maré é expressiva (Tessler e Goya, 2011).

As marés para o litoral do Estado de Alagoas são monitoradas através de uma única estação maregráfica. A DHN realiza o monitoramento das marés para a região a partir da estação maregráfica localizada no Porto de Maceió. As marés apresentaram amplitude e período que as enquadram no regime de micro e mesomare semidiurna. Este tipo de maré caracteriza-se por apresentar duas preamares e duas baixamars no período de um dia lunar (24 horas e 50 minutos), o que, segundo Araújo *et al.* (2006), ocasiona no litoral de Alagoas a ruptura dos cordões litorâneos no período chuvoso, devido à grande descarga fluvial.

A amplitude média durante as marés de sizígia é da ordem de 2.4 m e 0.9 m durante a de quadratura (Santos, 2004).

2.1.2 Ventos

A circulação atmosférica é um aspecto importante para a compreensão da circulação das águas costeiras e dispersão de sedimentos, tendo em vista ser o vento, o principal elemento gerador de correntes e ondas, além de ser o responsável pelo transporte horizontal de calor latente e calor sensível, e sua convergência, nos baixos níveis, produz movimentos ascendentes e chuva sobre uma região. O vento é resultante de variações de gradientes horizontais de pressão atmosférica (temperatura) que são produzidos nas várias escalas espaciais (Bernardo e Molion, 2000).

Ao tratar da direção, frequência e velocidade dos ventos, verificou-se que os sentidos mais observados no outono e

inverno foram os de ESE (Este-Sudeste) (112,5°), enquanto que durante a primavera e verão prevaleceram os ventos de E (Este) (90°) (Almeida, 2018).

2.1.3 Sistemas de Correntes

Estando a área de estudo submetida a um sistema de mesomaré, Miguens (1995) afirma que é natural que as correntes de marés exerçam uma substancial influência na modelagem costeira da região, sobretudo quando associadas a períodos de ventos mais intensos e maré de sizígia, sendo esta última, caracterizada por apresentar as maiores preamares e menores baixa-mares, resultantes das forças de atração da Lua e do Sol, podendo propiciar a geração de ondas com alturas maiores que as convencionais.

Além disto, as correntes superficiais são paralelas às praias em 64% do tempo; são divergentes, isto é, afastam-se das mesmas em 31% do tempo e convergem às praias em apenas 5% do tempo. O sentido da corrente de deriva na área é preferencialmente de Norte para Sul (Santos, 2004).

2.1.4 Clima de Ondas

A principal variável indutora dos processos costeiros de curto e de médio prazo é o clima de ondas, responsável pelo transporte de areia nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa. É a energia das ondas, a intensidade e a recorrência das tempestades que comandam a dinâmica dos processos de erosão e acúmulo de areia na interface entre continente e oceano (Muehe, 1998).

Para a determinação do clima das ondas atuantes na área de estudo, esta pesquisa baseou-se na coleta temporal dos parâmetros hidrodinâmicos (direção, período, comprimento e altura das ondas) obtidos por Almeida (2018) para o período de 2016 a 2017, levando em consideração a teoria de onda linear proposta por Airy (1845), ou seja, as amplitudes dos parâmetros ondulatórios são influenciadas à medida que as velocidades e acelerações das ondas sofrem um decaimento exponencial com a profundidade, tendendo a valores nulos em profundidades maiores do que metade do comprimento de onda.

Na Tabela 1 estão citados os resultados dos parâmetros ondulatórios médios significativos de altura (H), período (T) e comprimento (L), além da direção média anual das ondas (Do) representativas para cada estação climática.

O resultado da média da altura significativa (H) mostra uma variação de 1.42 m no verão à 2.37 m no inverno. Em relação ao período significativo das ondas (T), o valor mais expressivo

foi observado durante a estação do outono (14.24 s), decaindo até atingir a menor amplitude no verão (8.64 s).

Tabela 1. Resultados significativos dos parâmetros ondulatórios por estação climática entre os anos de 2016 e 2017.

PARÂMETROS ONDULATÓRIOS	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO
H (m)	1.77	2.37	1.87	1.42
(s)	14.24	11.75	10.90	8.64
L (m)	22.21	18.33	17.00	13.48
Do (°)	127.55	135.00	112.5	115.06

2.3 Materiais e Métodos

Para compreensão dos impactos gerados pela translação do perfil praiar em direção ao continente (Retrogradação); a determinação da vulnerabilidade costeira; e o estabelecimento de áreas de proteção, foram utilizados dados ambientais levantados durante os anos de 2016 e 2017 por Almeida (2018) ao longo do litoral do município da Barra de São Miguel-AL, com observações distribuídas entre as quatro estações climáticas anuais.

2.3.1 Retrogradação Litorânea

O estabelecimento da retrogradação litorânea (zona de risco erosivo) está relacionado à quantificação do recuo da linha de costa, associada ao prognóstico de elevação do nível médio do mar, estimada pelo IPCC (2019) em cerca de 0.29 m (S_1) a 1.10 m (S_2) até o ano de 2100, como também, de seus agentes modeladores, tais como os ventos, ondas, composição granulométrica e correntes oceânicas.

Os Recuos (R_1 e R_2) ao longo do litoral da área de estudo foram determinados através da equação proposta pela Regra de Bruun (1962), idealizada para praias arenosas (Equação 1).

$$R = \frac{SLG}{H} \quad (1)$$

Ao avaliar os resultados obtidos através da aplicação da Regra de Bruun por diferentes autores, Rosati *et al.* (2013) concluiu que a Regra de Bruun apresenta limitações ao assumir que toda a areia removida do perfil superior é depositado no mar com o aumento do nível do mar. No entanto, ao propor uma nova metodologia, o autor concluiu não ser de fácil determinação o quantitativo do transporte de sedimentos para o ambiente terrestre, recomendando que se desenvolvam um entendimento

melhorado de transporte para o ambiente terrestre, de maneira a viabilizar a aplicação de novos métodos.

A pesar das limitações citadas, trabalhos como os desenvolvidos por Junior (2014), Mallmann (2016), Almeida (2018), Atkinson (2018) e Lima (2021) evidenciam que a Regra de Bruun pode ser aplicável em diferentes ambientes, visto a ausência de dados quantitativos relacionados ao transporte terrestre.

Na Equação 1, R é o recuo da linha de costa devido à elevação do nível do mar (m); S é a previsão de elevação do nível do mar (m) prevista pelo IPCC (2019) para o intervalo analisado; L é o comprimento do perfil ativo (m), que compreende a distância entre a elevação máxima do perfil ativo e a profundidade de fechamento; G , que representa a proporção de material erodido que se mantém no perfil ativo; e segundo Hallermeier (1981), H é a altura do perfil ativo (m), determinada pela somatória da altura da feição emersa ativa (topo do cordão litorâneo ou da praia ou duna frontal (h)), com a profundidade de fechamento (d_1) calculada do perfil, conforme Equação 2:

$$H = h + 1,75 \times d_1 \quad (2)$$

A Figura 2 demonstra que a translação de um perfil de praia por uma distância “s” devido a um aumento do NRM “a”, causaria a retrogradação da costa e a deposição de sedimentos ao longo do perfil da plataforma equivalente em espessura ao aumento do NRM “a” para obtenção de novo equilíbrio do perfil.

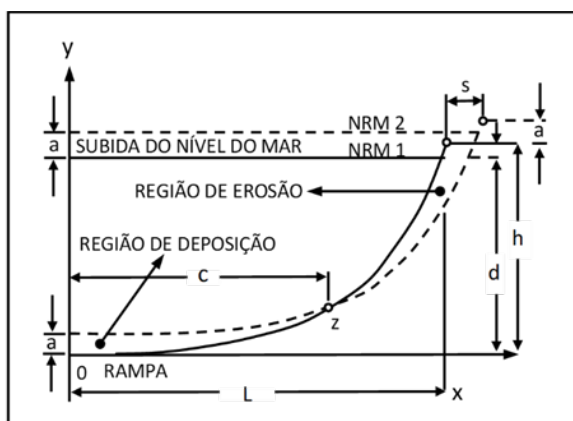


Figura 2. Perfil de Equilíbrio Praia: Regra de Bruun - translação da praia “s” imposta por um aumento do NRM “a”, resultando em deposição de sedimento ao longo do perfil com espessura “a” para atingir novo equilíbrio. Onde “d” é a profundidade do momento NRM 1 e “L” a distância do perfil à praia. Fonte: Adaptado de Bruun (1954).

De acordo com Nicholls *et al.* (1995), o resultado da Equação 2 representa o somatório da altura da feição emersa ativa (h)

(representada pelo topo do cordão litorâneo ou da praia ou duna frontal), com a profundidade de fechamento do perfil para um período de 100 anos ($d_{1,100}$) (Equação 3).

$$d_{1,100} = 1,75 \times d_1 \quad (3)$$

O valor de d_1 foi obtido através das equações de Hallermeier (1981) (Equação 4). O mesmo é caracterizado a partir das condições de altura de ondas significativas extremas na zona litorânea, e determina o limite da profundidade do perfil onde ainda ocorre um intenso transporte de sedimentos e mudanças extremas da morfologia do fundo.

$$d_1 = 2H_s + 11\sigma \quad (4)$$

Em que “ H_s ” representa a altura média significativa anual das ondas em metros; e “ σ ”, o desvio padrão anual das ondas significativas.

No intuito de obter um diagnóstico do comportamento temporal da profundidade de fechamento (d_1), os cálculos foram realizados considerando os dados obtidos para cada estação meteorológica e os compilados para o período anual.

Assim, a determinação da retrogradação litorânea (R), através da utilização dos limites definidos pela profundidade de fechamento (d_1) permitiu inferir regiões da faixa costeira propícias ao risco de erosão costeira, determinada pela linha de retrogradação prognosticada em função do efeito de elevação do nível do mar.

Para determinar a posição atual da linha de preamar máxima atinente ao ano de 2020, foram considerados como indicadores ambientais as feições morfológicas adotadas por Almeida (2008), Junior (2014) e Almeida (2018), ou seja, bermas, linha de vegetação e cúspides praias.

A posição atual da linha de preamar máxima, bem como o deslocamento da mesma frente ao prognóstico inferido pelo IPCC (2019), foram determinados através da fotointerpretação das feições morfológicas e respectiva vetorização posicional, utilizando como base cartográfica um ortofotomosaico obtido através de aerolevantamento executado durante a segunda maré de sizígia do mês de julho de 2020.

2.3.2 Mapeamento Aerofotogramétrico

Para a captura das imagens aéreas, utilizou-se a Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) da marca *Phantom 4 advanced* (Figura 3); para processamento das imagens, o *software* Agisoft

Metashape; e para vetorização das feições morfológicas e elaboração do mapa de retrogradação, o software QGIS 3.4.3.



Figura 3. Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) utilizada para captura das imagens aéreas da área de estudo.

Com o objetivo de elevar a acurácia posicional do mapeamento aéreo, visto que o receptor GPS (*Global Positioning System*) embarcado na aeronave possui precisão posicional de 5 a 10 m, foram distribuídos três Pontos Artificiais de Apoio Aerofotogramétricos (PAAA) ao longo do litoral estudado, denominados PC1, PC2 e PC3 (Figuras 4).

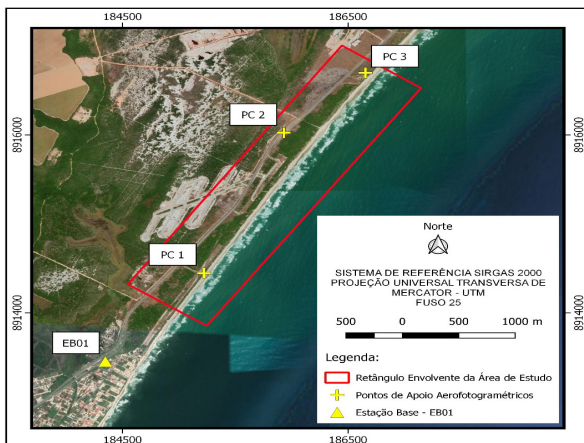


Figura 4. Mapa de distribuição espacial dos pontos de apoio aerofotogramétricos na área de estudo. Fonte: Autor (2020).

As coordenadas geodésicas dos PAAA foram obtidas através da adoção da Técnica de Posicionamento Relativo Estático Pós-Processado.

Para tanto, utilizou-se um par de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), Modelo GTR-G2 (Figura 5).

A estação geodésica EB01, foi implantada às margens da Rodovia AL 101 Sul, Município da Barra de São Miguel, sendo utilizada, tanto como Estação Base para o levantamento posicional dos PAAA, como para o pós-processamento das coordenadas geodésicas através do *software* GTR Processor, versão 2.94. A Tabela 2 apresenta as coordenadas planas UTM ajustadas, inseridas no Fuso 25.

2.3.3 Índice de Vulnerabilidade Costeira

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) (Nascimento e Dominguez, 2009; Menezes *et al.*, 2018; Oliveira, 2017; Filgueiras e Albino, 2020), descreve a vulnerabilidade a uma mudança física do ambiente, frente ao aumento do nível médio do mar (Germani *et al.*, 2015).

Por sua vez, o conceito de vulnerabilidade litorânea pode ser definido como sendo o estado de fragilidade natural de determinada costa à eventos erosivos de curta ou longa escala temporal (Lins-De-Barros, 2005b). Na literatura específica sobre erosão e inundação costeiras este conceito é geralmente associado à capacidade ou incapacidade de lidar com as mudanças climáticas ou subida do nível do mar (Lins-De-Barros, 2010).

Os efeitos de diferentes tipos de feições costeiras a uma elevação do nível marinho dependem das características geomorfológicas e litológicas da região, em que segundo Gornitz (1991), podem variar desde baixos até muito altos índices de vulnerabilidade, o que requer uma análise específica da compartimentação litorânea. A Tabela 3 indica as cinco variáveis ambientais e seus valores, utilizadas para inferir o IVC na área de estudo, segundo proposto por Gornitz (1991) e Germani *et al.* (2015).

Para categorizar o IVC à erosão marinha, aplicou-se a Equação 5 estabelecida por Gornitz (1991) para o cálculo do Índice de Vulnerabilidade para a Costa Atlântica. Ainda, segundo o autor, os valores abaixo de 8.7 representam baixa vulnerabilidade; entre 8.7 e 15.6: Moderada; entre 15.6 e 20: Alta; e acima de 20: Muito alta.

$$IVC = \sqrt{\frac{(A * B * C * D * E)}{5}} \quad (5)$$

Na Equação 5, as variáveis *A*, *B*, *C*, *D* e *E*, representam, respectivamente: Taxa de erosão/acresção (m/a); Geomorfologia; Declividade da costa (%); Mudanças relativas

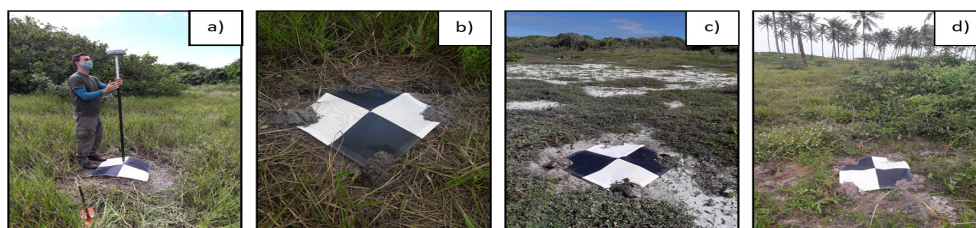


Figura 5. a) Levantamento posicional GNSS da Estação Base – EB01; Materialização dos Pontos Artificiais de Apoio Aerofotogramétricos: b) PC1, c) PC2 e d) PC3.

Tabela 2. Coordenadas Planas UTM ajustadas dos PAAA e suas discrepâncias posicionais planimétrica (σ_H) e altimétrica (σ_Z).

Ponto	Descrição	Este (m)	Norte (m)	Altitude Geométrica (m)	σ_H	σ_Z
EB01	Estação Base	184503.732	8913597.163	-0.586	0,002	0,003
PC1	PAAA	185169.852	8914415.324	-0.830	0,001	0,005
PC2	PAAA	186032.440	8916074.054	-1.112	0,002	0,001
PC3	PAAA	186598.015	8916758.376	-0.055	0,003	0,002

Tabela 3. Valores das variáveis ambientais para o cálculo do IVC para a Costa Atlântica.

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia	Costa de falésias rochosas; Fiord.	Falésias médias; Costas recortadas	Falésia baixa; Costas de deriva Glacial; Planície Aluvial.	Praias cascalhosas; Estuários, Lagoas.	Praias arenosas; Pântanos salgados; Planos lamosos; Deltas; Mangues; Recifes de coral.
Taxa de erosão/acresção (m/a)	> 2.0 Acreção	1.0 - 2.0 ←	-1.0 - 1.0 Estabilidade	-2.0 - -1.0 →	< - 2.0 Erosão
Declividade da costa (%)	> 1.2	1.2 - 0.9	0.9 - 0.6	0.6 - 0.3	< 0.3
Variação relativa do nível médio do mar (mm/a)	< 1.8	1.8 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.4	> 3.4
Altura significativa da onda (m)	< 0.55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	> 1.25
Amplitude da maré (m)	> 6.0	4.0 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 2.0	< 1.0

Fonte: Adaptada de Gornitz (1991) e Germani *et al.* (2015).

do nível do mar (mm/ano); Altura significativa de onda (m); e Amplitude de maré (m). Neste trabalho, os valores das variáveis foram determinados por Almeida (2018), e os prognósticos de elevação do nível do mar pelo IPCC (2019).

2.3.4 Limite terrestre não edificante

Tido como ação não estrutural por Alfredini (2009), o LTNE caracteriza-se por uma medida que não interfere de forma

física na zona costeira. Normalmente as ações não estruturais atuam no planejamento territorial e gerenciamento de riscos e perigos costeiros. Neste contexto, segundo Alfredini (2009) e Scherer (2013), dentre as várias ações de conservação da zona costeira, está a delimitação de faixas de terreno sem construções (zona *non aedificandi*).

As zonas *non aedificandi* são definidas por Souza (2009a), como

uma região de amortecimento ou proteção (setback distance) da praia, ou seja, uma faixa de terreno da planície costeira, paralela e junto à praia, com determinada largura mínima, no sentido do continente.

Ainda, segundo a mesma autora, a região compreendida por esta zona, deverá ser conservada de qualquer ocupação antrópica e ter restaurada a condição de permeabilidade original do terreno, como por exemplo, a recuperação de dunas frontais e da respectiva vegetação original.

Devido à ausência de legislação local para a determinação do LTNE, este trabalho levou em consideração: às diretrizes estabelecidas pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Brasil, 1988); a proposta definida por Muehe (2001), que define critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento; o Decreto Federal nº 5.300/04 (Brasil, 2004), que dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima; Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada (MMA, 2006); e a proposta de Gestão de Praias no Brasil (Scherer, 2013; Marchese, 2019).

Na sequência, foi possível estabelecer uma faixa mínima de proteção e de manutenção da estética da paisagem, conforme critérios descritos na Figura 6.

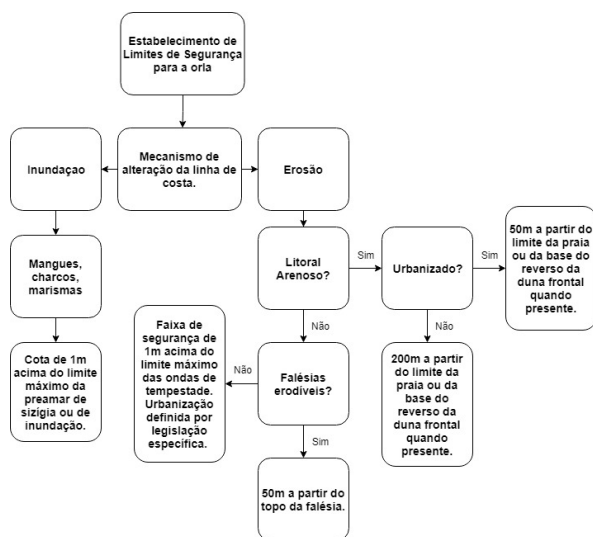


Figura 6. Determinação do LTNE segundo as características morfológicas do litoral. Fonte: Adaptado de Muehe (2001) e MMA (2006).

Neste estudo, a delimitação do LTNE também está condicionada diretamente aos valores inferidos para a Retrogradação e Vulnerabilidade Litorânea, visto que a mesma sempre deverá se sobrepor, em extensão, às regiões sobre risco erosivo.

Muehe (2001) afirma que a diminuição dos limites mínimos poderá ocorrer quando houver tendência progradação da linha de costa, expressa em taxas anuais ou o local se situar em áreas abrigadas, desde que justificado tecnicamente, sem prejuízo da competência estadual ou municipal para estabelecer medidas mais restritivas.

3. DISCUSSÃO

3.1. Retrogradação litorânea

Ao utilizar os cenários inferidos pelo IPCC (2019) para a elevação do nível do mar sobre os continentes até o ano 2100 (S1 e S2), em conjunto com as variáveis da fórmula de Bruun (1962) (h, H, L e G), foi possível obter os recuos erosivos (R1 e R2) e as Taxas de Erosão (TX1 e TX2) (Tabela 4).

Após a determinação dos recuos (R1 e R2), os mesmos foram vetorizados sobre o ortofotomosaico do ano de 2020, a partir da translação da posição da linha de preamar atual em direção ao continente.

Ao avaliar a extensão destes recuos, verifica-se que em ambos os cenários de elevação do mar ocorreria a destruição das dunas e dos cordões holocênicos frontais à planície litorânea, impactando as diversas comunidades da fauna e flora costeira (Figura 7).

Tabela 4. Valores médios em metros para as variáveis da fórmula de Bruun (1962) e Hallermeier (1981).

h	H	L	G	S1	R1	TX1	S2	R2	TX2
2.76	10.24	322.14	1	0.29	9.12	-0.11	1.10	34.60	-0.42

Com relação a transgressão marinha e a migração temporal da compartimentação praial continente a dentro, as projeções das linhas de costa (R1 e R2) indicaram que poderá haver perda sedimentar equivalente a 0.029 km² e 0.11 km².

Desta forma, visto os impactos projetados, torna-se necessária a definição de estratégias de adaptação da costa, tais como a preservação e ou reconstituição das características naturais do ambiente, e mais ainda, um melhor planejamento da ocupação em zonas costeiras vulneráveis aos impactos diretos das mudanças climáticas globais.

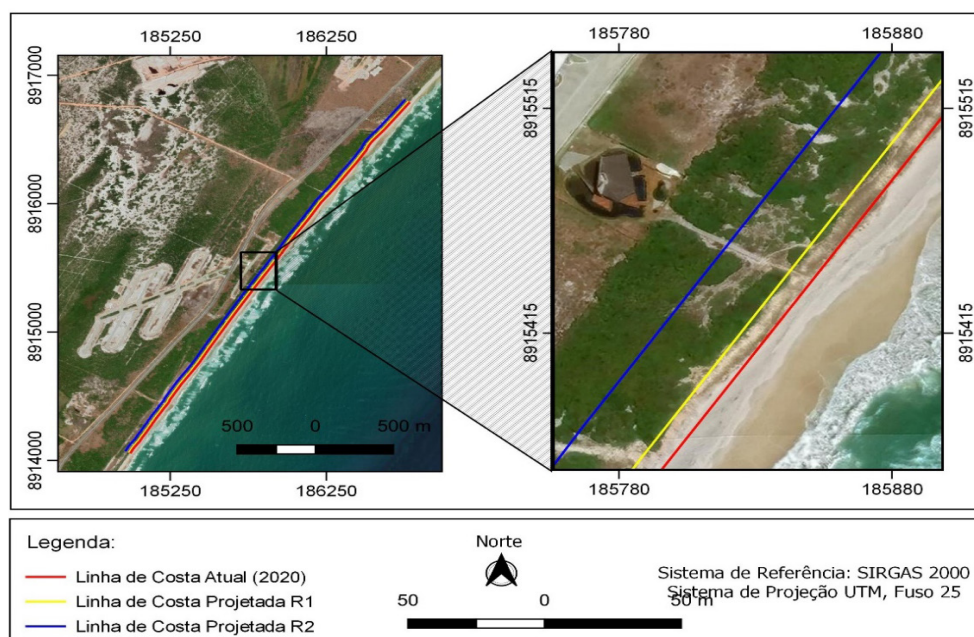


Figura 7. Mapa de retrogradação para o litoral da área de estudo com detalhe em maior escala das projeções erosivas R1 e R2 previstas para o ano de 2100 e da posição atual da linha de costa (ano 2020).

3.2. Índice de Vulnerabilidade Costeira

De maneira a determinar a vulnerabilidade da área estudada à elevação do nível do mar até o ano de 2100 (IPCC, 2019), foram utilizados os valores inferidos por Almeida (2018), relativos a cada uma das variáveis físicas e geológicas atinentes à região.

Através da Equação 5, foi obtido o valor para o IVC de 17,67, classificando a Praia do Meio como altamente vulneráveis à processos erosivos, frente a uma elevação do nível do mar de 0.29 m, conforme Tabela 5.

No entanto, ao relacionar a preservação da compartimentação praial, com obras de contenção e nível de ocupação antrópica ao longo da área de estudo, Almeida (2018) caracterizou a vulnerabilidade da região através da classificação sugerida por Dal Cin e Simeoni (1994) e Nicholls *et al.* (1995) como de vulnerabilidade baixa aos impactos gerados pela elevação do nível do mar sobre edificações e equipamentos públicos localizados sobre a costa.

Para tanto, Almeida (2018) identificou que o litoral está bem preservado e sem ocupação antrópica nas regiões da antepraia, praia e pós-praia, possuindo portanto, condições ambientais para absorver os impactos da ação erosiva, reestabelecer uma nova linha de costa e o reequilíbrio sedimentar.

Portanto, frente a elevação do nível do mar, o litoral da região

pode ser classificado como de baixa vulnerabilidade à impactos físicos sobre edificações e equipamentos públicos; como altamente vulnerável a ação dos processos erosivos, seja pela remoção dos sedimentos, seja pela retrogradação da costa.

3.3. Limite Terrestre Não Edificante

Após a construção do ortofotomosaico da área de estudo para o ano de 2020, seguida pela fotointerpretação e a vetorização posicional da linha de costa atual, foi possível identificar a ocorrência de alterações antrópicas pontuais na região da pós-praia.

O impacto ambiental foi identificado como implantação de loteamento residencial em área de proteção ambiental, segundo o que preconiza Brasil (1988), Muehe (2001), Brasil (2004), MMA (2006) e Scherer (2013).

Além disto, a análise fotointerpretativa do ortofotomosaico da região costeira indicou que as atividades de preparação do solo ocasionaram impactos relacionados à remoção da vegetação de restinga, remobilização sedimentar e alterações na fauna da região.

Desta forma, através do estabelecimento das regiões de proteção da paisagem, foi possível inferir que as alterações antrópicas recentes na região não obedecem ao LTNE de 200 m de extensão, delimitadas a partir da fronteira da praia ou da

Tabela 5. Valores dos parâmetros físicos e geológicos para classificação do IVC ao aumento do nível do mar até o ano de 2100 para a região de estudo, com base nos cenários otimistas do IPCC (2019).

Variáveis	Parâmetros Locais	Vulnerabilidade
Taxa de erosão (m/a) entre os anos de 2019 a 2100	- 0.11	Moderada
Geomorfologia	Praia arenosa	Muito alta
Declividade da costa (%)	7.89	Muito Baixa
Variação relativa do nível médio do mar (mm/ano) entre os anos de 2019 e 2100	3.58	Muito Alta
Altura significativa da onda (m)	1.42 - 2.37	Muito Alta
Amplitude da maré (m)	1.5	Muito Alta

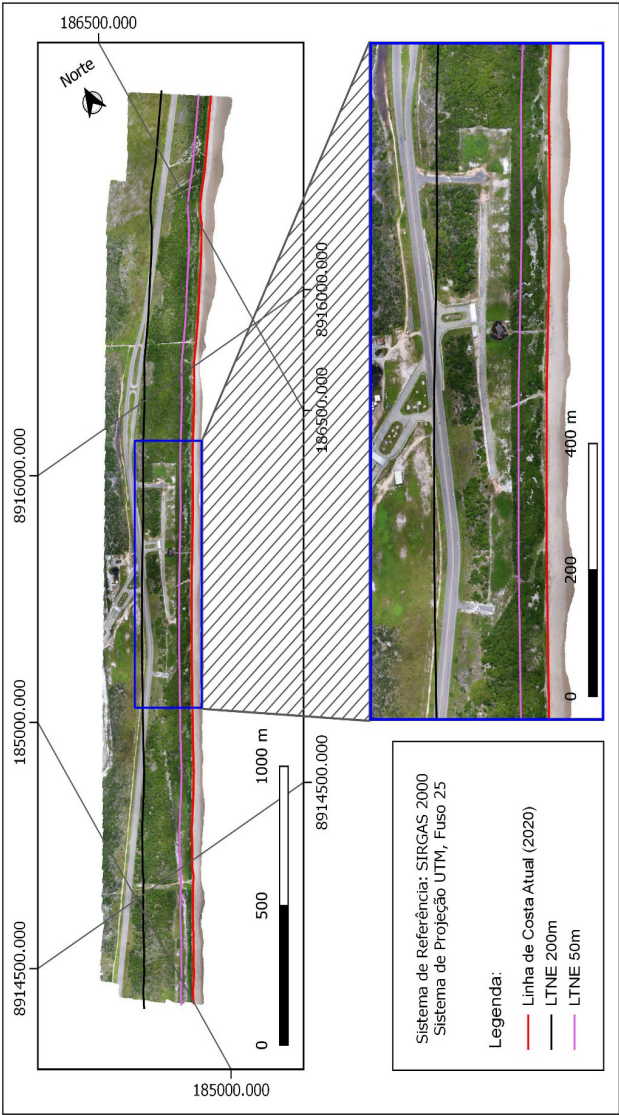


Figura 8. Representação da área de estudo e detalhe em escala de ampliação da representação dos LTNE de 200 m e 50 m, visto às projeções erosivas R1 e R2 previstas para os anos de 2100, relacionadas à posição atual da linha de costa (ano 2020).

Tabela 6. Projeção da Retrogradação (R1), LTNE e IVC.

Recuo da Linha de Costa (R _c)		LTNE		¹ Índice de Impacto (%)	² IVC
Extensão (m)	Área (m ²)	Extensão (m)	Área (m ²)		
9.12	29 971.13	200	657 261.80	4.55	5

¹Valor representativo do nível de impacto, em porcentagem, sobre a área delimitada pelo LTNE, levando em consideração a retrogradação estabelecida pelo cenário otimista do RLC; ²Índice de Vulnerabilidade Costeira: 1 - Muito Baixa, 2 - Baixa, 3 - Moderada, 4 - Alta, e 5 - Muito Alta.

base do reverso da duna frontal, quando existente, em direção ao continente (Figura 8).

Neste sentido, ao analisar o detalhe em escala de ampliação da Figura 8, constatasse que a delimitação das áreas de proteção da paisagem (não-edificantes) adotadas recentemente pelos empreendimentos ao longo da região, não seguem às recomendações do MMA (2006), visto que utilizam de forma contraditória, dimensões para exploração imobiliária, atinentes a regiões com urbanização já consolidadas.

Ao considerar os cenários de elevação do nível do mar (S1 e S2), estimados como mais prováveis e mais pessimistas, e a intensidade das retrogradações R1 e R2, verifica-se que apenas no segundo cenário haveriam impactos sobre as edificações.

No entanto, ao considerar os prognósticos de elevação do nível do mar até o ano de 2100 e a extensão do recuo R1 em relação à localização do empreendimento imobiliário denominado “Saint Michel Premium”, foi possível constatar que o mesmo estaria a aproximadamente 18 m da região a ser erodida, estando por sua vez, vulnerável a eventos entremos e a sazonalidade sedimentar do perfil praiar.

Considerando os recuos otimistas (R1) determinados pela Lei de Brun; a resposta de diferentes tipos de feições costeiras a uma elevação do nível do mar; e a determinação do LTNE, foi possível estabelecer uma síntese da retrogradação para a região, observadas na Tabela 6.

4. CONCLUSÕES

O litoral do Município de Barra de São Miguel/AL, possui características geomorfológicas quaternárias herdadas das transgressões e regressões marinhas, onde através das quais é possível inferir sobre a evolução costeira da região, e que de maneira geral, permite deduzir que a região apresenta vulnerabilidade em relação às perspectivas de novas elevações do nível do mar.

Considerando o prognóstico de retrogradação da linha de costa, com base nos cenários previstos pelo IPCC (2019) para a elevação do nível do mar frente às mudanças climáticas, a região, mesmo que no cenário otimista, irá apresentar algum percentual de regiões erodidas.

Quanto a categorização do grau de vulnerabilidade da costa à erosão marinha, conclui-se que a mesma é classificada como altamente vulnerável a subida do nível do mar, através da ação da erosão marinha e consequente recuo da linha de costa.

A determinação do LTNE, ou seja, uma faixa mínima de proteção e de manutenção da estética da paisagem, estabelecida a partir das distâncias entre a linha de preamar atual em direção ao continente, demonstrou que a adoção prévia dos resultados do LTNE seria suficiente para absorver os impactos futuros gerados pela elevação do nível do mar.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se que a diminuição do LTNE além do mínimo sugerido de 200 m, não deve ser adotada para a região, visto que o litoral não se situa em área abrigada da ação das ondas, como também, pelo fato de não existirem estudos temporais que indiquem tendência à progradação da linha de costa, de maneira a embasar tecnicamente medidas menos restritivas.

Nesse sentido, um aspecto fundamental para a fixação do LTNE para além do cenário otimista de retrogradação, é a determinação da tendência evolutiva do litoral, tanto numa escala de tempo geológico (centenas a milhares de anos), como na escala de tempo do processo atual (anos e décadas).

Quanto a utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) para a determinação posicional da linha de costa, a mesma demonstrou ser uma ferramenta eficiente de mapeamento, possibilitando a confecção de base cartográfica com acurácia decimétrica, das quais é possível extrair informações tanto temáticas, quanto métricas.

Desta forma, é válido afirmar que a metodologia adotada e os resultados obtidos neste trabalho foram importantes

para compreensão do ambiente costeiro do Município de Barra de São Miguel, podendo também ser utilizado como fonte norteadora no monitoramento e gerenciamento do uso e ocupação do solo ao longo de outras regiões litorâneas do Estado de Alagoas.

Assim, recomenda-se que as observações litorâneas sejam ampliadas através de estudos complementares na ordem de anos e décadas, de maneira a obter parâmetros morfodinâmicos espaço/temporais, auxiliando assim, na determinação das tendências evolutivas do município.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos revisores deste artigo; e ao Grupo de Estudos Integrados ao Gerenciamento Costeiro (GEIGERCO/CNPq) da UFAL pela contribuição no processo de coleta e análise das informações ambientais (ano de 2020).

REFERÊNCIAS

Airy, G. B. (1845) - On tides and waves. In: Encyclopaedia Metropolitana, Londres: 1845. (Volume 5). Sem ISBN. Disponível on-line em <https://books.google.com.br/books?id=41DsaaAAAJ&lr&hl=pt-BR&pg=PA237#v=onepage&q&f=false>.

Alfredini, P.; Arasaki, E. (2009) - *Obras e gestão de portos e costas: A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental*. 804p., São Paulo: Blücher, 2º Ed. ISBN: 9788521204862.

Almeida, H. R. R. C. (2018) - *Influência dos processos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos no zoneamento costeiro e na plataforma continental rasa do litoral do município da Barra de São Miguel, Alagoas, Brasil*. 190p., Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Araújo, T. M.; Santos, R. C. A. L.; Seoane, J. C. S.; Manso, V. A. (2006) - *Erosão e progradação do Litoral Brasileiro, Alagoas*. In: MUEHE, D. Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. ISBN: 85-7738-028-9. Disponível on-line em <https://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-g-eros-ao-e-progradacao>.

Assis, H. M. B. (2007) - *Influência da hidrodinâmica das ondas no zoneamento litorâneo e na faixa costeira emersa, entre Olinda e Porto de Galinhas, Pernambuco*. 140p. Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Atkinson, A. L.; Baldock, T. E.; Birrien, F.; Callaghan, D. P.; Nielsen, P.; Beuzen, T.; Turner, I. L.; Blenkinsopp, C. E.; Ranasinghe, R. (2018) - Laboratory investigation of the Bruun Rule and beach response to sea level rise. *Coastal Engineering* 136 183-202. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.03.003>.

Bernardo, S. O.; Molion, L. C. B. (2000) - Variabilidade do vento para a Cidade de Maceió-AL. In: *XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Rio de Janeiro, RJ. Anais do XI CBMET. Rio de Janeiro, RJ: CBMET, 1343-1350. ISBN: Português, Meio digital. Disponível em CD-ROM.

Brasil (1988) - *Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988*. Disponível on-line em <https://www.mma.gov.br/destaques/item/8644-plano-nacional-de-gerenciamento-costeiro-pngc>.

Brasil (2004) - *Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004*. Disponível on-line em <http://www.planalto.gov.br>.

Bruun, P. (1954) - Coast erosion and the development of beach profiles. Washington: *Beach Erosion Board, Office of The Chief of Engineers*. Technical Memorandum nº 44. ISBN: Ausente. Disponível on-line em <https://books.google.com.br/books?id=AANKvgAACAAJ&hl=pt-BR&pg=PP7#v=onepage&q&f=false>

Bruun, P. (1962) - Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors division*, [s.i.], v. 88, n. 1, 117-132. ISBN: 0569-8103. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/30084988?seq=1>.

Cavalcante, J. S. I. (2018) - *Áreas costeiras: gestão, problemáticas e percepções ambientais no município de Areia Branca, Rio Grande do Norte, Brasil*. 184p. Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.

Coutinho, P.N. (1976) - *Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe*. 119p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Dal Cin, R.; Simeoni, U. (1994) - A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, [s.i.], v. 10, n. 01, 18-29, 1994. ISBN: 1551-5036. Disponível on-line em <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/79105>.

Dean, R. G. (1991) - Equilibrium beach profiles: characteristics and applications. *Journal of coastal research*, [s.i.], v. 07, n. 01, 53-84. ISSN: 0749-0208. Disponível on-line em <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/78405/75816>.

Dominguez, J. M. L. (1995) - Regional assessment of short and long term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. *Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone*, 8-10, São Paulo, Brasil. ISSN: 1678-2690. Disponível on-line em https://www.researchgate.net/publication/287742781_Regional_Assessment_of_Longerm_Trends_of_Coastal_Erosion_in_Northeastern_Brazil.

- Duarte, X. R. (2002) - Caracterização morfo-sedimentológica e evolução de curto e médio prazo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife/Jaboatão dos Guararapes- PE. 141p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Programa de Pós- Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Eckart, C. (1952) - The Propagation of Gravity Waves From Deep to Shallow Water, *Natl.Bur. Standards, Circular 521*, 165-173, Washington, Estados Unidos da América.
- Figueiras, G. D. L.; ALBINO, A. (2020) - Vulnerabilidade costeira a partir da abordagem multicritério: estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo. In: *Revista do Departamento de Geografia*, Volume 40 (78-93), ISSN 2236-2878. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.165831.
- Granziera, M. L. M. (2009) - Direito Ambiental. São Paulo: Atlas: (592-624).
- Germani, Y. F.; Figueiredo, S. A.; Calliari, L. J.; Tagliani, C. R. A. (2015) - Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v.15, n.1, 121-131.
- Gornitz, V. (1991) - Global sea level hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 89(1): 379-398. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands. Disponível on-line em http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1991/1991_Gornitz_1.pdf.
- Gruber, N. L. S. (2002) - *A anteparaia na região de Tramandaí* - RS. 207p., Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Hallermeier, R. J. (2019) - A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, v. 4, p. 253-277, 1980-1981. DOI: 10.1016 / 0378-3839 (80) 90022-8.
- IPCC (2019) - *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)*. Disponível on-line em <https://www.ipcc.ch/srocc/home/>.
- Junior, C. F. (2014) - *A Influência das ondas e das características geomorfológicas no zoneamento territorial costeiro entre Porto de Galinhas e Rio Formoso, litoral sul de Pernambuco-Brasil*. 169p., Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Mallmann, D. L. B. (2016) - Análise de risco à erosão costeira de curto-termo para o litoral central de Pernambuco. 160p., Tese de Doutorado em Oceanografia, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Manso, V. A. V.; Coutinho, P. N.; Lima, A. T. O.; Medeiros, A. B.; Borba, A. L. S.; Lira, A. R. A.; Pedrosa, F. J. A.; Martins, M. H. A.; Chaves N. S.; Duarte, R. X.; Almeida, L. E. S. B.; Toldo Jr. E. E. e Ivo, P. S. (1995) - *Estudo da erosão marinha na praia da Boa Viagem*. In: CONVÊNIO EMLURB/FADE/LGGM-UFPE. Relatório Final, 106p., Recife, Brasil.
- Manso, V. A. V.; Macedo, R. J. A. ; Silva, E. R. M. E. ; Pereira, N. S. ; Soares Junior, C. F. A. ; Arraes, M. ; Alves, F. P. (2012) - Subsídios ao Gerenciamento Costeiro: Definição da Zona Não Edificante da Praia do Porto (PE) para uso e Ocupação da Orla. In: *ESTUDOS GEOLÓGICOS (UFPE)*, v. 22: (21-36). ISSN 1980-8208. Disponível on-line em <http://www3.ufpe.br/estudosgeologicos/>.
- Marchese, L. (2019) - *Desenvolvimento de um Mecanismo de Gestão para Integrar os Esquemas de Certificações de Praias ao Projeto Orla*. 149p. Tese de Doutorado em Ciências, Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Menezes, A. F.; Pereira, P. S.; Gonçalves, R. M.; Araújo, T. C. M.; Souza, P. H. G. O. (2018) - análise da vulnerabilidade à erosão costeira através de geoindicadores nas praias de Piedade e Paiva (PE), Brasil. In: *Geociências*, UNESP, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 455 - 465.
- Miguens, A. P. (1995) - Navegação: a ciência e a arte. Navegação costeira, estimada e em águas restritas. Niterói/RJ: Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Volume 1.
- MMA (2006) - *Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada*. 74p., Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília, DF, Brasil. ISBN: 85-7738-029-7. Disponível on-line em https://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008111238.pdf.
- Muehe, D. (1998) - Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. *Revista Brasileira de Oceanografia*, São Paulo, v. 46, n. 2: (157-169). DOI: 10.1590 / S1413-773919980 00200005.
- Muehe, D. (2001) - Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília, v. 2, n. 1: (35-44), 2001. ISSN: 22365664. Disponível on-line em <http://www.isie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/6/4>.
- Muehe, D. (2004) - Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo. In: *MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA); MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (MPO)*. Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto Orla): subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA, 2004, p. 13-32. Disponível on-line em https://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_041220081 10506.pdf.
- Nascimento, D. M. C.; Domingues, J. M. L. (2009) - Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 39(3): 395-408. Disponível on-line em <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/2648/1/11962-59204-1-PB.pdf>.

- Neves, C. F.; Muehe, D. (2008) - Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias Estratégicas*, Vol. 13, No 27. ISSN: 2176-9729. Disponível on-line em http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/325.
- Nicholls, R. J.; Leatherman, S. P., Dennis, K. C. E Volonté, C. R. (1995) - Impacts and responses to sea-level rise: qualitative and quantitative assessments. *Journal of Coastal Research*, [s.i.], v. 14: (26-43). ISSN: 0749-0208. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/25735699?seq=1>.
- Oliveira, R. C. (2009) - Ambiente costeiro fragilidades e impactos relacionados a ação antrópica: o cenário da baixada santista no estado de São Paulo/Brasil. In: 12º *Encuentro de geógrafos de América Latina - caminando en una América Latina en transformación*. Montevideo, Uruguai.
- Oliveira, D. Z. (2017) - *Análise de índices de vulnerabilidade física com o uso de geotecnologias na região da barreira do inferno*. 93p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- Lima, L. T.; Fernández, S. F.; Gonçalves, J.f.; Filho, L. M.; Bernardes, C. (2021) - Development of Tools for Coastal Management in Google Earth Engine: Uncertainty Bathtub Model and Bruun Rule. *Preprints 2021*. DOI: 10.20944/preprints202102.0513.v1).
- Lins-De-Barros, F. M. (2005) - Erosão costeira e gerenciamento: estudo de caso do litoral de Maricá, Rio de Janeiro. In: *Seminário Maricá Dinâmica Urbana e Ambiental*, 1, Maricá/RJ. Anais. Maricá/RJ: [s.i.]: (03-23). Disponível on-line em <https://docplayer.com.br/amp/9885610-Erosao-costeira-e-gerenciamento-estudo-de-caso-do-litoral-de-marica-rio-de-janeiro.html>.
- Lins-De-Barros, F. M. (2010) - *Contribuição Metodológica para Análise Local da Vulnerabilidade Costeira e Riscos Associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. 301p. Tese de Doutorado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, Brasil.
- Pilkey, O. H.; Young, R. S.; Riggs, S. R.; Smith, A. W. S.; Wu, H.; Pilkey, W. D. (1993) - The concept of shoreface profile of equilibrium: a critical review. *Journal of Coastal Research*, [s.i.], v. 9, n. 1: (255-278). ISSN: 0749-0208. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/4298082?seq=1>.
- Rosati, J.d.; Dean, R.g.; Walton, T.L. (2013) - The modified Bruun Rule extended for landward transport. In: *Marine Geology*: 340 (71-81). ISSN: 0025-3227/\$ - DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2013.04.018>.
- Santos, R. C. A. L. (2004) - *Evolução da linha de costa à médio e curto prazo associada ao grau de desenvolvimento urbano e aos aspectos geoambientais na planície costeira de Maceió* - Alagoas. 176p. Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
- Scherer, M. (2013) - Gestão de praias no Brasil: Subsídios para uma reflexão. *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v.13, n.1: (3-13). DOI: 10.5894/rgci358.
- Schwartz, M. L. (1967) - The BRUUN theory of sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Geology*, [s.i.], v. 75: (76-92). ISSN: 1893-2015. Disponível on-line em <https://www.jstor.org/stable/30084988?seq=1>.
- Silva, J. S. V.; Santos, R. F. (2004) - Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 21, n. 2: (221-263). Disponível on-line em <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/113810/1/v21n2p221.pdf>.
- Souza, C. R. G. (2009a) - A erosão nas praias do estado de São Paulo: Causas, consequências, indicadores de monitoramento e risco. In: Bononi, V. L. R.; Santos Júnior, N. A. (Orgs.). *Memórias do conselho científico da Secretaria do Meio Ambiente: A síntese de um ano de conhecimento científico acumulado*. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Brasil. ISBN: 978-85-7523-025-1. Disponível on-line em http://www.abes-sp.org.br/docs/pdf/celia_erosao_praias_de_sp-causas_e-efeitos.pdf.
- Tessler, M. G.; Goya, S. C. (2011) - Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 17: (11-23). DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0001.1