



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA/LAGEMAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA  
DOS OCEANOS E DA TERRA



**TESE DE DOUTORADO**

**IMPACTOS ANTRÓPICOS NO LITORAL DA ILHA DO MARANHÃO**

**AUTOR: JOHERBETH CARLOS LIMA RÊGO**

NITERÓI-RJ  
NOVEMBRO/2019



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA/LAGEMAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA  
DOS OCEANOS E DA TERRA



## **IMPACTOS ANTRÓPICOS NO LITORAL DA ILHA DO MARANHÃO**

Autor: Joherbeth Carlos Lima Rêgo

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas dos Oceanos e da Terra, do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Dinâmica dos Oceanos e da Terra.

Orientador: Prof. Dr. Abílio Soares Gomes

NITERÓI-RJ,  
NOVEMBRO/2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

R343i Rêgo, Joherbeth Carlos Lima  
Impactos Antrópicos no Litoral da Ilha do Maranhão /  
Joherbeth Carlos Lima Rêgo ; Abílio Soares Gomes,  
orientador. Niterói, 2019.  
93 f. : il.

Tese (doutorado) -Universidade Federal Fluminense, Niterói,  
2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT .2019.d.64680843349>

1. Vegetação. 2. Urbanização. 3. Praias. 4. Lixo. 5.  
Produção intelectual. I. Gomes, Abilio Soares, orientador.  
II. Universidade Federal Fluminense. Instituto de  
Geociências. III. Título.

CDD -

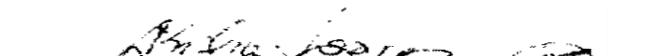
JOHERBETH CARLOS LIMA RÊGO

IMPACTOS ANTRÓPICOS NO LITORAL DA ILHA DO MARANHÃO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas dos Oceanos e da Terra, do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Dinâmica dos Oceanos e da Terra.

Aprovada em: 14 / 11 / 2019

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. ABÍLIO SOARES GOMES (Orientador)  
Universidade Federal Fluminense-UFF

  
Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO BAPTISTA NETO  
Universidade Federal Fluminense-UFF

  
Prof. Dr. ESTEFAN MONTEIRO DA FONSECA  
Universidade Federal Fluminense-UFF

  
Prof. Dr. GUSTAVO VAZ DE MELO  
Universidade Federal Fluminense-UFF

  
Profa. Dra. JOSEFA VARELA GUERRA  
Universidade Estadual do Rio de Janeiro-UERJ

  
Profa. Dra. RAQUEL DEZIDÉRIO SOUTO  
Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ

A Deus.

Aos meus pais, Carlos César e Maria de Nazaré.

Aos meus filhos, irmãos e sobrinhos.

À minha esposa, Caroline.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca me abandonar.

Ao meu orientador, Abílio Soares Gomes, pela confiança e ensinamentos ao longo desta jornada. Obrigada por não desistir de mim.

Aos membros da banca, os professores José Antonio Baptista Neto, Estefan Monteiro Da Fonseca, Gustavo Vaz De Melo, Josefa Varela Guerra e Raquel Dezidério Souto por aceitarem, gentilmente, em participar desta banca de Doutorado e pelas correções e sugestões que serão essências no aprimoramento do trabalho.

Aos amigos Gabriel Santos e Fabrício Souza Silva, que participaram das minhas coletas de dados e elaboração dos mapas.

Ao amigo Vinícius Guimarães, pela amizade e pelo apoio ao longo de todo este percurso.

Aos meus amigos da Rua 13 e da PMMA, aos amigos Fabrício, Osmar e Charles por estarem sempre próximos e me fazerem muito bem.

Agradeço enormemente ao amor, carinho, respeito e amizade da minha esposa, Caroline Correa, que participou de todas as etapas de realização deste trabalho, que sem sua ajuda nada disso seria possível.

Aos meus amados pais, Carlos César e Maria de Nazaré, por todos os princípios e valores ensinados, pelo apoio, ajuda e carinho durante todos os momentos da minha vida. Amo muito vocês!

Aos meus irmãos, Alessandro, Dalviliza e Werberssan, pelo carinho, apoio, ajuda e cumplicidade de irmãos.

Ao CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, da Universidade Federal Fluminense, e todos os seus funcionários.

## **RESUMO GERAL**

As zonas costeiras são áreas que se destacam bastante como um dos ambientes naturais mais procurados pelos setores econômicos em função dos atrativos que possuem, como: alimentos, produção industrial, transporte, fonte de recursos minerais e turismo sem contar com a grande biodiversidade. O uso e a ocupação da costa, especialmente em praias, devido aos atrativos turísticos, podem causar diversos impactos ao ambiente e a biota. O Maranhão possui a segunda maior área costeira do Brasil, nos últimos anos essa área vem apresentando um crescimento populacional vertiginoso, principalmente na capital, as atividades turísticas e a expansão urbana provocara vários impactos ambientais nas praias da região norte do município de São Luís. O presente estudo avaliou os diversos impactos antrópicos: supressão da vegetação, lançamento de efluentes, lixo marinho, perturbações antrópicas na frequência e no tamanho das tocas do caranguejo fantasma *Ocypode quadrata*. Os resultados mostraram que os fatores antrópicos influenciaram na presença e no tamanho das tocas do caranguejo maria farinha, perda da vegetação de 146 ha nas praias em estudadas, descargas de esgoto nas praias e presença de lixo. Conclui-se que os impactos antropogênicos contribuíram para a degradação dos ecossistemas praial, que merece atenção das autoridades públicas e seus usuários.

**Palavras-chave:** praia, vegetação, caranguejo fantasma, urbanização, lixo, efluentes.

## ABSTRACT

Coastal zones are areas that stand out as one of the most sought after natural environments by economic sectors due to their attractions, such as food, industrial production, transportation, source of mineral resources and tourism, not to mention the great biodiversity. The use and occupation of the coast, especially on beaches, due to tourist attractions, can cause various impacts on the environment and biota. Maranhão has the second largest coastal area in Brazil, in recent years this area has been showing a vertiginous population growth, mainly in the capital, the tourist activities and the urban expansion had caused several environmental impacts in the beaches of the northern region of São Luís. The present study evaluated the various anthropogenic impacts: vegetation suppression, effluent discharge, marine litter, anthropogenic disturbances in the frequency and size of the ghost crab *Ocypode quadrata* burrows. The results showed that the anthropogenic factors influenced the presence and size of the ghost crab burrows, loss of vegetation of 146 ha in the studied beaches, sewage discharges in the beaches and the garbage. It can be concluded that anthropogenic impacts have contributed to the degradation of beach ecosystems, which deserves the attention of public authorities and their users.

**Keyword:** beach, vegetation, ghost crab, urbanization, waste, effluent

## LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 1 – Mapa com localização das praias Olho D’água e Ponta D’areia na porção norte da ilha do Maranhão, São Luís. ....	58
Figura 2 – Peso (media e desvio padrão) dos resíduos totais e plásticos nas praias Olho D’água e Ponta D’areia no período de estiagem. ....	60
Figura 3 – Peso (media e desvio padrão) dos resíduos totais e plásticos nas praias Olho D’água e Ponta D’areia no período chuvoso .....	61.
Figura 4 – Frequência das tocas de <i>O. quadrata</i> catalogadas nas praias Olho D’água e Ponta D’areia no período de estiagem e chuvoso .....	61
Figura 5 – Média do diâmetro das tocas de <i>O. quadrata</i> nas praias Olho D’água e Ponta D’areia no período de estiagem e chuvoso. ....	62
Figura 6 – Distribuição das tocas do caranguejo–fantasma ao longo da praia Ponta D’areia. ..	62
Figura 7 – Distribuição das tocas do caranguejo–fantasma ao longo da praia Olho D’água....	63
Figura 8 – Análise dos componentes principais, levando em consideração as seções, total dos resíduos e frequência das tocas de <i>O. quadrata</i> na praia Olho D’água. ....	64
Figura 9 – Análise de componentes principais, levando em consideração as seções, total de resíduos e a frequência das tocas de <i>O. quadrata</i> na praia Ponta D’areia. ....	64
Figura 10– Enroncamento para construção da extensão da avenida Litorânea na praia Olho D’água. ....	66
Figura 10 – Fluxo de veículos na praia Olho D’água.....	66
Figura 12 – área em estudo antes da construção da avenida litorânea e ampliação da avenida na praia.....	69

Figura 13 – Lançamento de efluentes in situ oriundos de bares e casas.....	71
Figura 14 – Prefeitura da cidade realizando a limpeza das praias. ....	71
Figura 115 – Embalagens plásticas oriundas de outros países na areia da praia .....	72
Figura 16 – Matéria prima em látex provavelmente trazida até a areia pela ação das ondas .....	72

## SUMÁRIO

	p.
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS .....	4
CAPÍTULO 1 – PERDA DE COBERTURA VEGETAL NUMA ILHA TROPICAL DA ZONA COSTEIRA DA AMAZÔNIA (ILHA DO MARANHÃO, BRASIL) .....	6 a 15
CAPÍTULO 2 – URBANIZAÇÃO COSTEIRA E IMPACTOS ANTROPOGÊNICOS NUMA ILHA TROPICAL DA ZONA COSTEIRA DA AMAZÔNIA, NO SUDOESTE DO ATLÂNTICO .....	16 a 40
CAPITULO 3 – IMPACTOS ANTRÓPICOS E DENSIDADE DE TOCAS DO OCYPODE QUADRATA EM DUAS PRAIAS AMAZÔNICAS (ILHA DO MARANHÃO, BRASIL) .....	53
1. INTRODUÇÃO .....	55
2. ÁREA DE ESTUDO.....	57
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
3.1. Amostragem de <i>Ocypode quadrata</i> e dos RSA.....	59
3.2. Processamento das Amostras .....	59
3.3. Analise de Dados.....	59
4. RESULTADOS.....	60
5. DISCUSSÃO .....	65
6. CONCLUSÃO .....	74
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
CONCLUSÃO GERAL .....	84

## INTRODUÇÃO GERAL

As praias são ecossistemas costeiros dinâmicos que exigem espaço para responder às mudanças ambientais promovidas pelas pressões naturais ou antropogênicas (Portz, Manzolli & Sul, 2011). Nas últimas décadas as aglomerações costeiras urbanas têm exercido fortes pressões sobre o ambiente e as zonas costeiras em todo o mundo, mostrando cada vez mais evidências de degradação devido às atividades humanas, que influenciam posteriormente os recursos vivos (Marcus, 2004). As praias em escala global vêm sofrendo grandes alterações na fauna e flora em decorrência da ocupação desenfreada e crescimento do turismo (Barros, 2001; Blankensteyn, 2006). As praias são áreas que se destacam bastante como um dos ambientes naturais mais procurados pelos setores econômicos em função do turismo que possuem, e sem contar com a grande biodiversidade. As praias são ecossistemas típicos de zonas costeiras onde o ser humano se estabeleceu desde tempos antigos (Marean et al., 2007). Devido à sua beleza, as praias também atraem os seres humanos por razões recreativas, turísticas, culturais e espirituais (Thompson e Schlacher, 2008). As condições favoráveis das zonas costeiras levaram a uma ocupação intensa e construção de grandes centros urbanos e a uma rápida expansão das atividades antropogênicas. Atualmente, cerca de 50% da população humana global vive 100 quilômetros da beira do mar e a maioria das megacidades do mundo ( $> 10$  milhões povos) são ocupações próximo das praias (programa-UNEP do ambiente das Nações Unidas, 2016). O litoral vem sendo ocupadas e utilizadas pelo homem ao longo da história, estes ambientes passaram por uma série de intervenções humanas, responsáveis pela redução da biodiversidade, bem como pela descaracterização dos recursos naturais devido à crescente ocupação desordenada. Nestes ambientes localizam-se aglomerados urbanos e/ou cidades as quais proporcionam o desenvolvimento de atividades turísticas e comerciais, que acabam por trazer investimentos financeiros significativos, responsáveis pelo aumento crescente dos mais variados empreendimentos imobiliários relacionados ao turismo e lazer.

A ocupação desenfreada dos ecossistemas costeiros ocasiona significativas agressões ao meio, afetando a dinâmica e o equilíbrio ecológico em diferentes escalas. Este sistema acaba por produzir e reproduzir o modelo vigente de apropriação dos recursos naturais, refletindo o modo pelo qual nós desenvolvemos cultural e economicamente, a partir de um sistema que age sem o devido planejamento. As praias são locais valiosos e bens ecológicos embora a humanidade não reconheça seu papel importante em proteger a costa da erosão, dos eventos climáticos extremos, berçário para espécies de marisco, aninhamento e locais de alimentação para vertebrados, purificação de poluentes e ciclagem de nutrientes (DeFeo et al., 2009). As praias próximas aos

centros urbanos é um fator preponderante para a perda da qualidade ambiental. O acúmulo de lixo relacionado à urbanização costeira é um problema crescente em todo o mundo que está afetando toda a fauna marinha, (Derraik, 2002). Atualmente, o impacto do lixo na biodiversidade, na saúde humana e até na economia do turismo é um grande desafio global (Rochman et al., 2015). A crescente pressão humana nas praias exige estratégias eficientes de gestão e conservação. O uso de macroinvertebrados no monitoramento de praias tem sido proposto como uma boa estratégia, pois sua abundância é previsivelmente afetada por impactos ambientais (bioindicadores). *Ocypode quadrata*, como as outras espécies deste gênero, apresenta o mais sofisticado padrão comportamental entre todos os invertebrados de praias arenosas (McLachlan; Brown, 2006), sendo foco de muitas pesquisas e no seu uso como indicadores de impactos antrópicos (Blankensteyn, 2006; Hobbs; Landry; Perry, 2008), principalmente por ser sensíveis aos impactos antropogênicos nas praias.

As praias arenosas da costa amazônica brasileira têm um potencial considerável para a indústria do turismo, com seus ambientes naturais e bem preservados, distribuídos ao longo de uma costa de 3900 km e aproximadamente mais de 650 praias são encontradas nas costas brasileiras dos estados do Pará e Maranhão (Pereira et al., 2016a, 2016b). A costa amazônica é caracterizada por uma paisagem heterogênea, variando de zonas de intenso desenvolvimento urbano a áreas escassamente povoadas, com pouca ou nenhuma infraestrutura ou serviços públicos (Szlafstein, 2012). As praias mais populares estão sujeitas a um desenvolvimento não planejado, o que criou uma série de riscos naturais e antropogênicos, relacionados principalmente à erosão provocada por construções inadequadas, contaminação bacteriológica por descargas de esgoto, poluição e derramamentos de óleo (Andrade et al., 2010; Pereira et al., 2014). O Brasil é um dos países mais afetados pela degradação ambiental marinha por possuir um extenso litoral, recortado por baías, , ilhas, cabos e uma grande diversidade natural de fauna e flora costeira ( More, 2002). Na área de estudo as atividades antrópicas foram de forma tão intensas que substituíram a paisagem natural, retirando a vegetação nativa e removendo as dunas, cedendo lugar às obras de engenharias.

O litoral maranhense dentro do mosaico dos ecossistemas costeiros destaca-se por reunir aptidões das mais variadas (como exemplo a pesca, comércio, produção, portos, moradia, turismo e lazer), Nas áreas de praias do município de São Luís ao norte da Ilha do Maranhão , representada pela praia da Ponta D'Areia, São Marcos ,Calhau e Olho D'água , a degradação ambiental está materializada pelos lançamentos de efluentes, lixo marinho, remoção de dunas litorâneas ,construções urbanas dentro e em torno das praias, supressão da vegetação e fauna praiana associadas à especulação imobiliária e ao turismo. As intervenções humanas nas praias em estudo

substituíram a paisagem natural, retirando a vegetação nativa e removendo as dunas, cedendo lugar às obras de engenharias. Estas possuem grande valor imobiliário e concentram uma parcela nobre da população (COSTA *et al.*, 2012).

É necessário avançar na identificação e quantificação dos impactos ambientais (supressão da flora, fauna, dunas, lixo marinho e descarga de efluentes) que afetam os ecossistemas praianos com diferentes níveis de ocupação humana. Tais informações nos auxiliarão para a conservação do ambiente subsidiando para um plano de manejo e gerenciamento das praias arenosas, para conservação e recuperação a curto, médio e longo prazo da fauna, flora e dinâmica do ecossistema praial.

Este trabalho teve como principal objetivo reunir informações e ampliar o conhecimento sobre os impactos antrópicos nas praias da região norte do município de São Luís- MA, e para isto, foi dividido em três capítulos:

1. Perda de cobertura vegetal numa ilha tropical da zona costeira da Amazônia (Ilha do Maranhão, Brasil)
2. Urbanização costeira e impactos antropogênicos numa ilha tropical da zona costeira da Amazônia, no sudoeste do Atlântico.
3. Impactos antrópicos e densidade de tocas do *Ocypode quadrata* em duas praias amazônicas (Ilha do Maranhão, Brasil)

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M.M.N., SZLAFSTEIN, C.F., SOUZA-FILHO, P.W.M., ARAÚJO, A.R., GOMES, M.K.T., 2010. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: a case study using GIS and remote sensing. *J. Environ. Manag.* 91, 1972–1980
- MAREAN, C.W., BAR-MATTHEWS, M., BERNATCHEZ, J. ET AL. 2007. Early human use of marine resources and pigment in South Africa during the Middle Pleistocene. *Nature*, 449: 905-909.
- MORE, RODRIGO FERNANDES. A poluição do meio ambiente marinho e o princípio da precaução - Página 2/4. *Jus Navigandi*, Teresina, ano 7, n. 58, 1 ago. 2002. Disponível em: <<http://www.sedep.com.br/artigos/a-poluicao-do-meio-ambiente-marinho-e-o-princípio-da-precaucao/>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- THOMPSON, L.M.C. & SCHLACHER, T. 2008. Physical damage to coastal dunes and ecological impacts caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: A case study from Fraser Island, Australia. *Journal of Coastal Conservation*, 12(2): 67-82.
- DEFEO, O. 2003. Marine invertebrate fisheries in sandy beaches: an overview. *Journal of Coastal Research*, 56-65.
- DERRAIK, J. G. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9): 842-852.
- BARROS, F. Ghost crabs as tools for rapid assessment of human impacts on exposed sandy beaches. *Biological Conservation*, Essex, Inglaterra, GB, v. 97, p. 399-404, 2001.
- BLANKENSTEYN, A. O uso do caranguejo maria-farinha *Ocypode quadrata* (Fabricius) (Crustacea, Ocypodidae) como indicador de impactos antropogênicos em praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, São Paulo, SP, v. 23, n. 3, p. 870-876, 2006.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM-UNEP, 2016. Cities and Coastal Areas. <[http://www.unep.org/urban\\_environment/issues/coastal\\_zones.asp](http://www.unep.org/urban_environment/issues/coastal_zones.asp)>. Acessado em: 9 de outubro de 2019

HOBBS, C. H.; LANDRY, C. B.; PERRY, P. E. Assessing anthropogenic and natural impacts on ghost crabs (*Ocypode quadrata*) at Cape Hatteras National Seashore, North Carolina. *Journal of Coastal Research*, v. 24, n. 6, p. 1450-1458. 2008.

MARCUS, A. (2004). An overview of the impacts of eutrophication and chemical pollutants on copepods of the coastal zone. *Zool. Stud.*, 43(2): 211-7.

PEREIRA, L.C.C., VILA-CONCEJO, A., SHORT, A.D., 2016a. Coastal morphodynamic processes on the macro-tidal beaches of Pará state under tidally-modulated wave conditions. In: Short, A.D., Klein, A.H.F. (Eds.), *Brazilian Beach Systems*, first ed. Springer, Suíça, pp. 95–124.

PEREIRA, L. C. C., TRINDADE, W. N. SILVA, I. R., VILA-CONCEJO, A., Short, A. S., 2016b. Maranhão beach systems, including the human impact on São Luís beaches. In: Short, A.D., Klein, A.H.F. (Eds.), *Brazilian Beach Systems*, first ed. Springer, Suíça, pp. 125–152

PEREIRA, L.C.C., VILA-CONCEJO, A., COSTA, R.M., SHORT, A.D., 2014. Managing physical and anthropogenic hazards on macrotidal Amazon beaches. *Ocean Coast. Manag.* 96, 149–162.

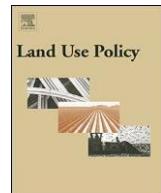
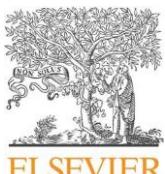
PORZT, L., MANZOLLI, R.P. & SUL, J.A.I. (2011). Marine debris on Rio Grande do Sul north coast, Brazil: spatial and temporal patterns. *Rev. Gestão Costeira Integr.*, 11(1): 41-8

ROCHMAN, C.M., TAHIR, A., WILLIAMS, S. L., BAXA, D. V., LAM, R., MILLER, J.T. & TEH, S. J. 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5, 14340.

SZLAFSZTEIN, C.F., 2012. Natural disasters management in the Brazilian amazon: an analysis of the states of acre, amazonas and Pará. In: Cheval, Sorin (Ed.), *Natural Disasters*. INTECH, Zagreb. <<https://www.intechopen.com/books/natural-disasters/natural-disasters-management-in-the-brazilian-amazon-an-analysis-of-the-states-of-acre-amazonas-and->>

## CAPÍTULO 1

**PERDA DE COBERTURA VEGETAL NUMA ILHA TROPICAL DA ZONA COSTEIRA  
DA AMAZÔNIA (ILHA DO MARANHÃO, BRASIL)**



## Loss of vegetation cover in a tropical island of the Amazon coastal zone (Maranhão Island, Brazil)

Joherbeth Carlos Lima Rêgo<sup>a</sup>, Abílio Soares-Gomes<sup>b,✉</sup>, Fabrício Sousa da Silva<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra – Universidade Federal, Fluminense Av. Gen. Milton Tavares de Souza s/nº – Gragoatá Campus da Praia Vermelha, Niterói, RJ, 24210-346, Brazil <sup>b</sup> Departamentos de Biologia Marinha–Universidade Federal Fluminense, P.O. Box 100.644, Campus do Valongo, Niterói, RJ, 24001-970, Brazil <sup>c</sup> Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão, São Luís, MA, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Brazilian coastline  
Coastal plain vegetation  
Deforestation  
Remotesensing imagery

### ABSTRACT

Coastal zones are valuable environments for humankind and have been used for urban settlements, recreation, harbours, mining and the gathering of natural resources. However, human occupation and usage of coastal ecosystems is threatening their diverse natural vegetation. The aim of this study was to analyse the changes in coastal vegetation cover of Maranhão Island in the face of urban development over the last 20 years through remote sensing imagery. Our results reveal a loss of vegetation for four of the five beaches studied. The most extensive loss occurred at the beaches of São Luis Municipality (accounting for 146 ha), which is highly urbanized. Vegetation loss also occurred at sites protected under national environmental legislation, most of which was due to illegal human activity. The results were discussed in the light of the literature which pointed out to a deterioration in the urban environment coinciding with the loss of vegetation, mainly in terms of domestic sewage pollution and erosion. We present for the first time an estimate of the vegetation loss for Maranhão Island, which contribute to the knowledge of Atlantic Forest deforestation, specifically the restinga vegetation that is yet poorly studied.

### 1. Introduction

Coastal zones are transitional sites where the landmass, the sea and the atmosphere interact (Lewis et al., 2012). These zones are valuable environments for humankind and have been used since ancient times for human settlements, harbours, mining and the gathering of natural resources. Moreover, historically, coasts are of cultural and religious importance, recreation and sightseeing (Thompson and Schlacher, 2008; Defeo et al., 2009). Coasts are among the most productive ecosystems, providing proportionally more services and goods for humans than other ecosystems, even those that cover greater areas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). These services include coastal protection, erosion control, water purification, carbon sequestration, provision of natural resources, and biodiversity maintenance (Barbier et al., 2011; Taylor et al., 2015). Coastal vegetation is a biologically productive component of coastal ecosystems and plays an important role in their ecology (Feagin et al., 2005; Nicholls and Cazenave, 2010; Martins et al., 2013). However, anthropogenic uses of coastal zones are jeopardizing these natural habitats (Neumann et al., 2015; Feist and Levin, 2016) and causing loss of their vegetation.

The great economic value of coastal zones has resulted in settlement

of their urban centres and rapid expansion of anthropogenic activities. Consequently, at present, c.a. 50% of the world's population (3.7 billion inhabitants) live within 100 km of a coast, which only represent less than 20% of all land (United Nations Environment Program-UNEP, 2016). In the tropics, about 1.36 billion people live on the coast (Nicholls et al., 2007; Sale et al., 2014). Climate change is one of the main challenges faced by humans and coastal human populations are particularly vulnerable to events of coastal erosion and sea level rise promoted by increased global temperatures. There is evidence that the deforestation of rainforests could influence climate at local, regional and global scales, with negative consequences for agricultural productivity among other impacts (Lawrence and Vandecar, 2015). Deforestation and degradation of vegetation represent a significant proportion (6–17%) of the anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions contributing to global warming, mostly from tropical vegetation (Seto et al., 2012). In Brazil, uncontrolled occupation of coastal zones since the country's discovery by Europeans has promoted considerable loss of vegetative cover, particularly of the Atlantic Forest (Tabarelli et al., 2010; Lapola et al., 2014), of which only between 12 and 16% of the original cover remained by 2010 (Ribeiro et al., 2009).

Considering the increasing rate of urbanization and environmental

<sup>✉</sup> Corresponding author.

E-mail addresses: [joherbethrego@hotmail.com](mailto:joherbethrego@hotmail.com) (J.C.L. Rêgo), [abiliosg@id.uff.br](mailto:abiliosg@id.uff.br) (A. Soares-Gomes), [fabriciosousasilv@gmail.com](mailto:fabriciosousasilv@gmail.com) (F.S. da Silva).

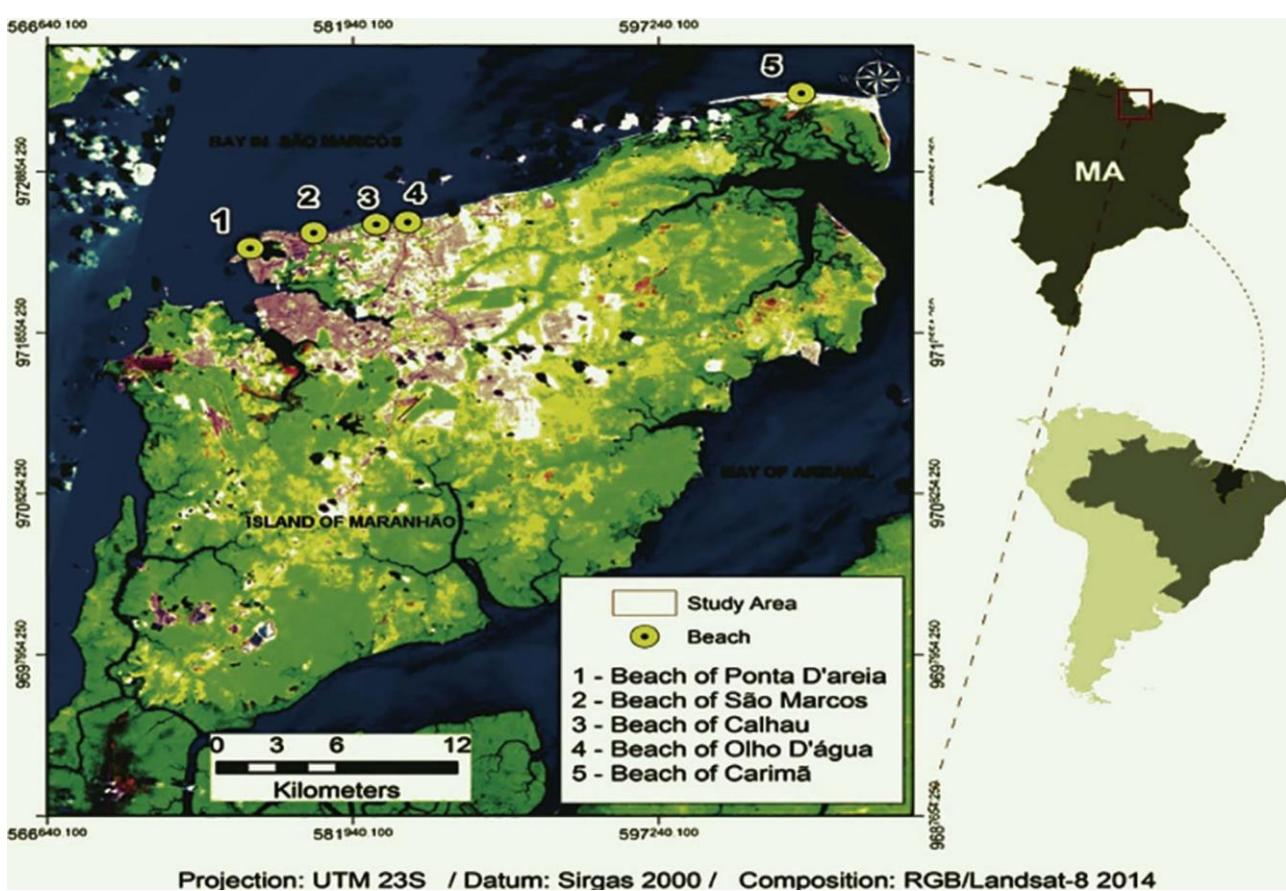


Fig. 1. Map of the study area with the location of sampling sites.

degradation, it is important to quantify the present state of degradation and to identify its consequences to establish solutions. To get an environmental baseline, mapping can provide information on vegetation cover that is crucial for protection and restoration programs (Xie et al., 2008; Lai et al., 2017). Among mapping techniques, satellite imaging is a powerful tool to understand the dynamics of loss of vegetation cover since it provides both spatial and multi-temporal analysis. Thus, processing of remotely sensed images is very useful for mapping a territory and for the management of risks and problems (Saatchi et al., 2001). The increasing use of these technologies is driven by the availability of several approaches and the possibility of rapid and efficient production of accurate results. Among other applications, remote sensing has been used to map and understand changes in spatial dynamics due to natural disasters and anthropogenic activities (Dahdouh-Guebas, 2002; Heuman, 2011; Nandy and Kushwaha, 2010).

Considerable urbanization and population increase have been observed on Maranhão Island over the last 20 years as a consequence of industrial projects and growing tourism. The island, located in an ecotone (a transition zone between two ecosystems), is considered to have high plant biodiversity. Anthropogenic pressures threaten the island's environment, leading to changes in geomorphology, hydrology, and sedimentary processes. An analysis of the processes related to loss of vegetation cover on the island could guide stakeholders and decisionmakers in future planning and highlight the current environmental situation to citizens. Moreover, research into land alteration is crucial to understanding global environmental change (Turner et al., 2007) and case studies such as this one are essential to comprehending landscape dynamics (Santana-Cordero et al., 2017).

This study aims to analyse the changes in coastal vegetation cover of Maranhão Island, Northern Brazil, in light of urbanization over the last 20 years by means of geoprocessing and remote sensing imagery.

## 2. Methods

### 2.1. Study area

Maranhão Island, also known as São Luís Island, located in Maranhão State, is part of the Amazonian sector of the northern Brazilian coastline. This sector represents ca. 35% of the Brazilian coastline and is characterized by low relief, a broad coastal plain and a wide neighbouring continental shelf (Szlafsztein, 2012). The coastline of Maranhão State extends along a transitional zone between the tidedominated Amazon-Pará coast of the North and the wind-dominated coast of Ceará State in the South. The coastline can be divided into Western, Central and Eastern sectors. The Central sector corresponds to Maranhão Gulf, wherein Maranhão Island is located (Pereira et al., 2016). There are 144 beaches distributed along the 490 Km of the Maranhão Gulf coastline, of which 60 are on Maranhão Island. The beaches are dissipative or ultradissipative (sensu Short, 2006), tidedominated and primarily composed of fine quartz sands. The tidal regime is semidiurnal, with an extreme high water spring tide of approximately 7.0 m and a high neap tide of about 2.5 m. The local climate presents two well-defined seasons; a rainy season from January to June, and a dry season from July to December. Annual precipitation is in the order of 2200 mm. Mean air temperature is 27 °C, with no marked differences across the year (Pereira et al., 2016; INMET, 2016).

According to Freire and Monteiro (1993), Maranhão Island is located in a transition zone between the Amazon and Northeast vegetation. This transitional feature results in a rich local flora of about 260 species belonging to 78 families, the most frequent being the Fabaceae, Mimosaceae, Caesapiniaceae, Myrtaceae, Poaceae and Cyperaceae. Recently, Serra et al. (2016) reported 19 new species for the local vegetation. The herbaceous, shrub and tree vegetation that occur near the littoral zone and occupy the coastal sandy soils, such as the

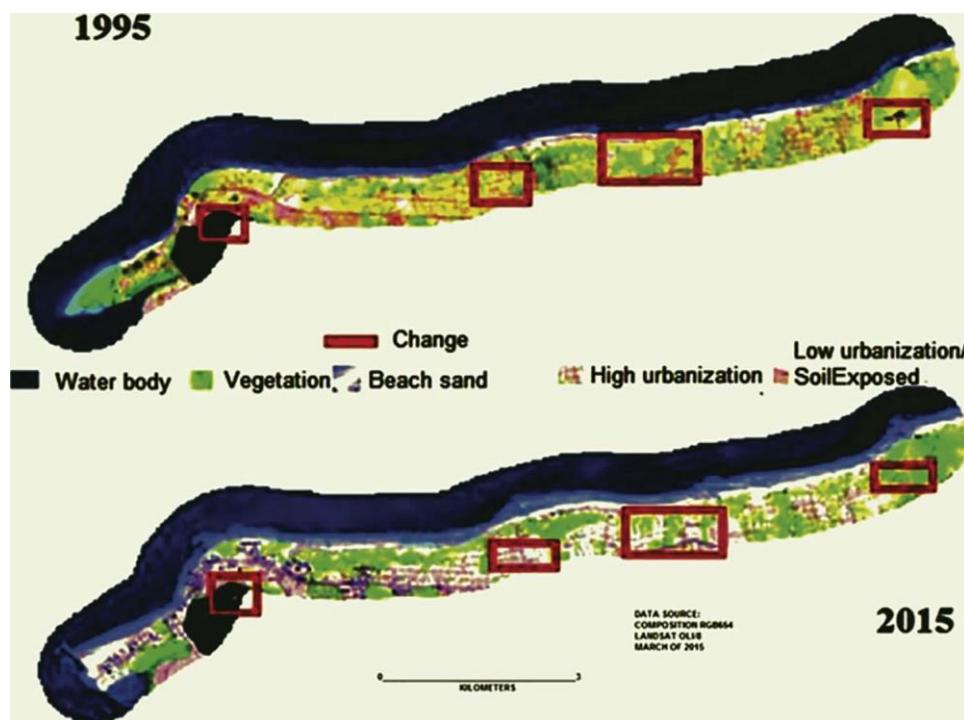


Fig. 2. Interpretation key for Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, and Olho d'Água beaches, with changes in vegetation cover contoured in red.

foreshore, dunes, sandy bars and lagoonal margins, is locally named "restinga" and is considered a component of the Atlantic Forest ecosystem (Rocha et al., 2007; Silva et al., 2010). Mangroves are another typical vegetation found in the local intertidal muddy sediments, which cover extensive areas of the southern portion of the island and small patches of the northern portion (Freire and Monteiro, 1993). According to SouzaFilho (2005), the mangroves cover an area of 1623 Km<sup>2</sup> of the Maranhão Gulf coast.

There are four municipalities on Maranhão Island: São Luís, São José do Ribamar, Raposa and Paço do Lumiar. The human population of the island is over one million ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)), most of whom live in São Luís (a UNESCO World Cultural Heritage Site), which is the capital of Maranhão State. The main economic activities on the island are shipping, fishery, tourism, and general trade (Pereira et al., 2016).

Our study area is located on the northern portion of the island at São Marcos Bay (Fig. 1). A 1.5 Km belt of the Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d'Água and Carimã beaches was analysed, covering 23 Km<sup>2</sup> in total.

## 2.2. Pre-processing and classification of images

Landsat TM-5 (from the year 1995) and OLI-8 (from 2015) images (2A class) in TIFF format were processed to determine the loss of vegetation cover. The images are available from INPE (National Institute for Space Research) and were processed using the Processing System of the Geographic Information System SPRING version 5.2x I (available from the DPI/INPE website) and QGIS 2.8 (available at [www.qgis.org.br](http://www.qgis.org.br)). Both selected images had been taken in August, thereby avoiding an influence of seasonality. We combined the 543 (Landsat Sensor TM-5) and 654 (Landsat Sensor OLI-8) bands—corresponding to near-infrared, red and green bands that together are used for mapping land cover and use—to generate an RGB composite image.

A vector map was generated in SPRING based on previous knowledge of the study area and by adopting the zonal tool sub-routine based on limits adopted in other studies. Next, we performed a supervised classification by the MaxVer algorithm. MaxVer is a statistical classification method based on the weighted mean of distances between the studied classes. The weighted mean is

used to calculate the probability of allocating a given pixel from the composite RGB image to a specified class. This classification approach is commonly used since the sampling parameters can estimate how pixels are distributed in each class observed in the composite RBG bands (Moreira, 2011).

Using SPRING, we mapped the different kinds of soil cover (water, urban areas and vegetation). A map of vegetation cover loss was obtained by algebraic mapping procedures for the years 1995 and 2015 to represent the original and remnant vegetation, respectively. Finally, we quantified the lost, intact and regrowth vegetation in QGIS.

## 3. Results

The 543™ and 654 (OLI) spectral bands for 1995 and 2015 allowed us to identify changes in the urban structure and the general landscape of selected beaches on Maranhão Island over the past 20 years (Figs. 2 and 3). Our supervised classification of the images generated two maps that revealed vegetation cover loss for the Ponta da Areia, São Marcos, Calhau and Olho d'Água beaches (Fig. 4). Analysis was not possible for Carimã Beach because changes to the landscape in terms of urban structure were not sufficiently conspicuous.

Our analysis of the Ponta da Areia, São Marcos, Calhau and Olho d'Água beach maps revealed considerable loss of vegetation cover due to increased urban area. Between 1995 and 2015, a total of 146 ha of vegetation was lost from these four locations. Vegetation loss was greatest for São Luis Municipality (40%), whereas for Raposa it was only 3%, representing a net overall loss of 36% (Table 1).

The 1990's were marked by the beginning of an urbanization process that resulted in the degradation of some beach habitats, such as dunes and restinga vegetation (Fig. 5). Nowadays, herbs dominate the habitats where, in the past, shrubs and trees were present. However, at some beach sites, it is still possible to see dunes and the remnant vegetation (Figs. 6 and 7).

The areas of regrowth shown in Fig. 8 represent recovery of vegetation not visible in the 1995 image but that was quantifiable in the 2015 image. The patches of vegetation observable in our maps correspond to herbs and, to a lesser degree, to mangroves. The mangroves mainly occur around Jansen Lagoon that, in the past, possessed a large mangrove forest that extended to the coastal fringe.

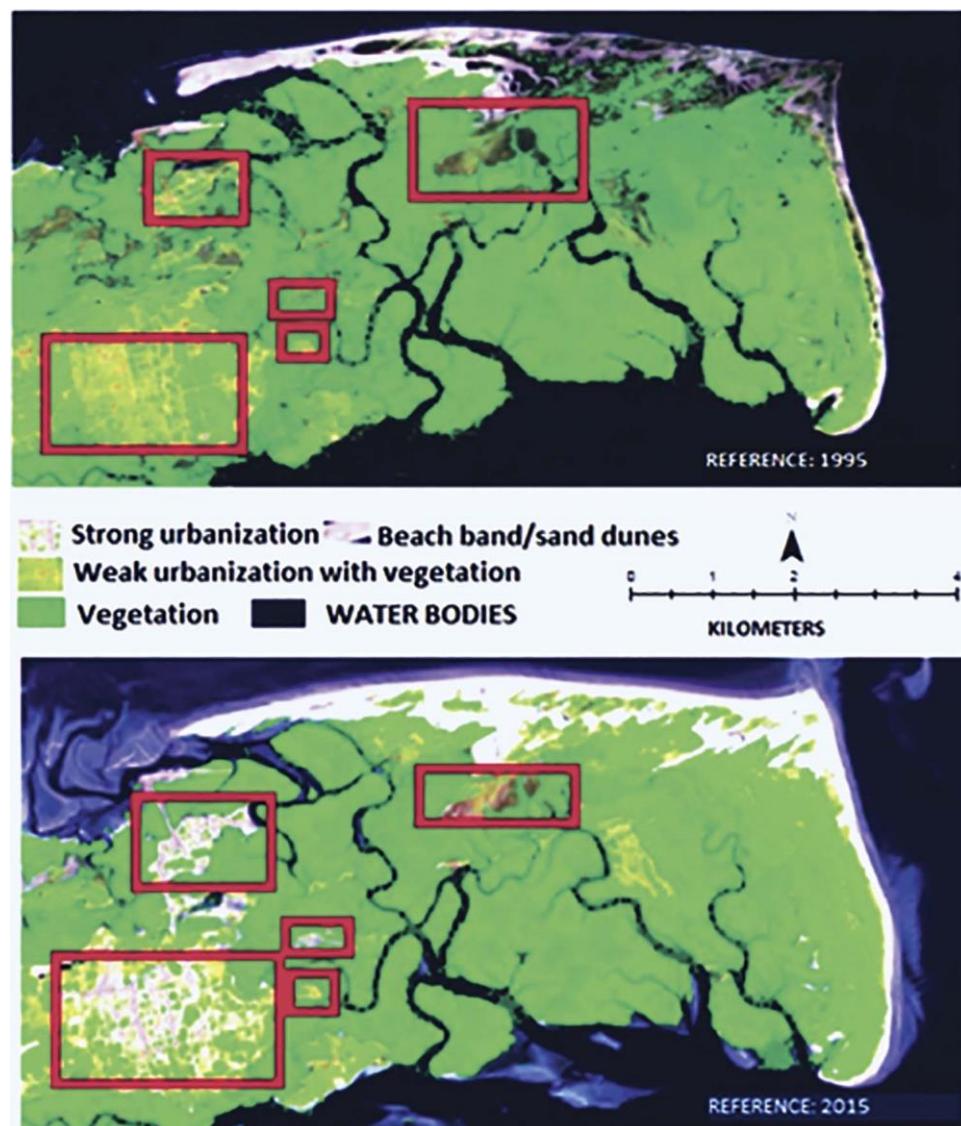


Fig. 3. Interpretation key for Carimã Beach, with changes in vegetation cover contoured in red.

These patches of regrowth, which also reflect environmental degradation since the vegetation is not original, covered 124 ha. Vegetative loss at Carimã Beach only amounted to 0.3 ha. Due to the existence of a natural channel that isolates this beach and the low urbanization rate of the nearby municipality, vegetative loss at Carimã Beach is most likely due to the natural advancing dune dynamics that can bury coastal vegetation.

#### 4. Discussion

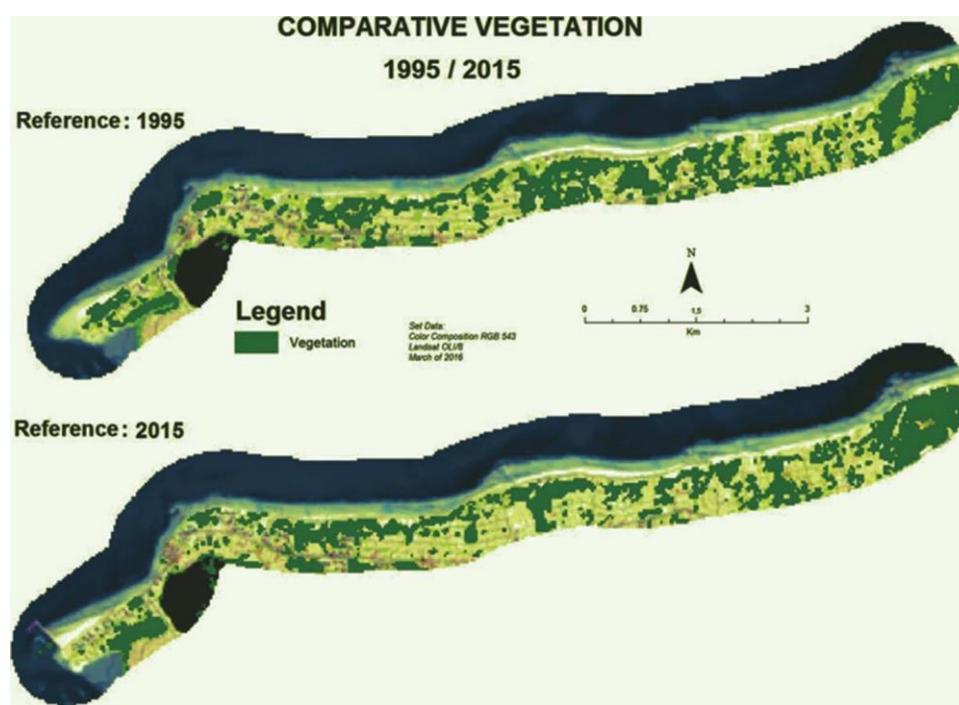
The Atlantic Forest is a biodiversity “hotspot” that may harbour about 1–8% of the world’s total species (Myers et al., 2000; Silva and Casteletti, 2003). Unfortunately, it is also one of the most degraded Brazilian ecosystems (Ribeiro et al., 2009), being particularly threatened by urban expansion (Seto et al., 2012). We document a considerable loss of vegetation over the last 20 years on Maranhão Island (an ecotone between the Atlantic and Amazon Forest biomes), representing the same period over which the most extensive clearance of Amazon Forest has taken place (Assunção et al., 2017; Alves-Pinto et al., 2017). Socioeconomic forces have been the main drivers causing changes to the Amazon and Atlantic Forest landscapes.

The factors contributing to loss of Atlantic Forest are diverse in time and space and relate to different land usage. At the beginning of European colonization, the forest was harvested as a source of timber and the cleared land was used to establish sugarcane, coffee and cocoa plantations that still remain at some sites. In other locations, the cleared land served for cattle grazing, soy

agriculture, as well as pine and eucalyptus plantations (Galindo-Leal and Câmara, 2003). More recently, the spread of urban populations into surrounding lands is one of the main causes of forest loss, as reported for São Sebastião Island, SE Brazil (Bertolo et al., 2012). On Maranhão Island, industrial projects and urban expansion are both the historical and current driving forces of vegetation cover loss, whereas in other parts of the Brazilian Amazon, clearing of forest is driven by agribusiness. Although confident estimates of Atlantic Forest deforestation exist—88% loss according to Ribeiro et al. (2009)—quantifications of the remnants of restinga habitat are scarce (Rocha et al., 2007). Here, we present an estimate of restinga habitat for the first time for Maranhão Island.

Silva et al. (2017) have shown that land use in the Brazilian Amazon, particularly in the Tocantins and Maranhão states, has been quickly transformed over the last 20 years. In that study, Maranhão State represented the second-most deforested among the nine states of the Brazilian Amazon, having lost 67.54% of its vegetation cover in the period from 2005 to 2012. The authors calculated an urbanization rate of 0.5 for the year 2010, and although not specifically cited by the authors, Maranhão Island probably contributed most to this value for Maranhão State since that is where the most developed municipalities are found. Data for the São Luís, Paço do Lumiar and Raposa of Maranhão Island from 1991 to 2010 (the year of the last National Population Census) reveal an exodus of the rural population into urban areas. Over that period, the total population increased by about 51%, with the urban population increasing from 33.21% to 91.95%. This change in the urban population was

Table 1



Amount and loss of vegetation cover for the São Luiz and Raposa municipalities in the years 1995 and 2015.

	Municipalities	
	São Luis	Raposa
1995	370 ha	33 ha
2015	225 ha	1 ha
Vegetation Loss	40%	3%

most pronounced for the municipality of Paço de Lumiar, with the urban population there representing 2.52% in 1991 and 75% in 2010 (Table 2).

Increasing urban populations are a widespread phenomenon; although urban areas represent only a small proportion of the Earth's surface, nowadays 54% of the human population lives in cities ([World Health Organization - WHO, 2016](#)). This urbanization is considered one of the main causes of landscape change and one of the greatest threats to biodiversity worldwide ([Doxa et al., 2017](#)). Changing land use and



Fig. 5. Aerial photography showing changes in urbanization for Ponta d'Areia Beach between 1995 and 2015 (Source: Google Earth). Inset shows a picture of buildings occupying the foredune zone in 2011.



Fig. 6. Picture of a site on Ponta d'Areia Beach in 2011 showing damage in the foreground and building development in the background.



Fig. 7. Picture of building development on a dune of São Marcos Beach in 2011.

expansion of urban areas invariably result in environmental problems. Among other environmental issues, urbanization transforms the natural landscape by degrading habitats and altering the dynamics of biophysical processes, thereby negatively impacting ecosystem services and goods necessary for human well-being (Alberti, 2010; Magarotto et al., 2016).

In many places, population increase and migration of people to coastal zones are exerting unprecedented pressure on those ecosystems (Brown and McLachlan, 2002; Schlacher et al., 2008; Sciandrello et al., 2015), which in some situations is incompatible with the natural dynamics of coastal zones (Veloso et al., 2008). Population increase results in high degrees of degradation,

as well as irreversible changes or permanent loss of coastal habitats (Martínez et al., 2008), such as observed for the European coast of the Mediterranean basin (Carboni et al., 2009), along the coast of Northern California (Potter, 2013), and in Singapore (Lai et al., 2015). On Maranhão Island, some of the urban and population increase observed over the past 40 years is attributable to local industrial policies adopted by the Brazilian Federal Government, such as the "Programa Grande Carajás" (PGC). The PGC and other similar projects were established during 1974–1978 as a national strategy for development. As part of the PGC, the mining companies Vale and ALUMAR set up operations in the São Luís Industry District linking two harbours and a railway (Carajás-São Luís) that had been built in the western portion of the island. Employment offered by those companies attracted people from all over the island and indeed other parts of the country, increasing the local population and expanding the urban area. Later, local policies were adopted to develop the tourism industry, especially after São Luís city was proclaimed in 1997 a UNESCO World Cultural Heritage Site. Uncontrolled and unplanned land use thereafter has led to continuous loss of vegetation on Maranhão Island. Our results show that the beaches of the northern portion of Maranhão Island exhibit a considerable rate of vegetation loss caused by expansion of urban areas. According to a previous analysis conducted by Santos (1996), the region was originally densely covered by restinga, with a vegetated sand bar and dune system parallel to the beaches, as corroborated by the satellite images presented in Figs. 2 and 3 of this work.

Urbanization of the coastal zone is in part stimulated by the tourism industry and, nowadays, a considerable proportion of the people living in coastal zones depend on tourism for their livelihoods (Calvão et al., 2013). A tourism boom in Europe in the 1960's and 1970's was responsible for rapid and uncontrolled urbanization of large areas, such as the southern parts of Spain, Portugal and Italy, which resulted in loss of dunes and vegetation (Gómez-Pina et al., 2002; Valpreda and Simeoni, 2003; Dias et al., 2013). In northeast Brazil, Boa Viagem Beach of the city of Recife represents a good example of rapid urbanization associated with unsuitable infrastructure. Ineffective planning and lack of governance by municipal authorities have resulted in uncontrolled construction of high buildings that have drastically altered beach and dune habitats (Magarotto et al., 2016). A similar process, motivated by the real estate market, is driving urbanization of Maranhão Island beaches. São Luís is the most urbanized area of Maranhão State and from 1991 to 2010 Ponta d'Areia, São Luís, Calhau and Olho d'Água beaches lost 9%, 6%, 11%, and 11% of their unoccupied areas, respectively (Silva et al., 2013).

Population increases result in housing demand that leads to verticalization of urban areas and so high-rise buildings are now usual in coastal zones (Dias et al., 2013; Magarotto et al., 2016), and buildings are often sited very close to the waterline making them vulnerable to erosional events (Freire et al., 2009). In Brazil, the famous Copacabana,

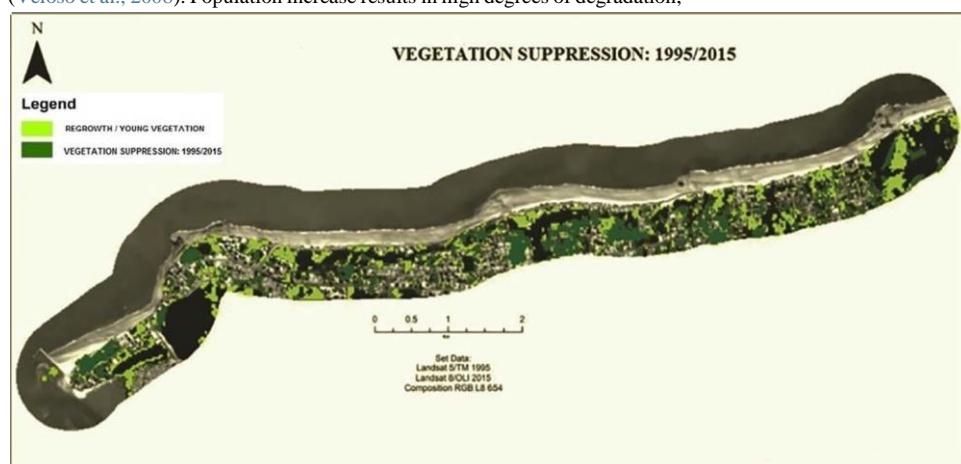


Fig. 8. Map of vegetation loss given by  $L = R_v - O_v$ , where  $L$  = vegetation loss,  $R_v$  = remnant vegetation (2015), and  $O_v$  = original

Table 2

Variation in total population (TP) and the urban population (UP) for the São Luis Metropolitan Municipalities in the years 1991, 2000 and 2010.

Source: Brazilian Human Development Atlas.

[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/sao-luis\\_ma](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/sao-luis_ma) Accessed in 09 May 2017.

São Luiz		Paço de Lumiar		Raposa		Total		
	TP	UP	TP	UP	TP	UP	TP	UP
1991	691,596	246,244 (35.61%)	45,456	1147 (2.52%)	7912	*	744,964	247,391
2000	857,387	824,550 (96.17%)	76,950	1188 (1.54%)	17,088	11,370 (66.54%)	951,425	837,108
2010	1,014,837	958,522 (94.45%)	105,121	78,811 (74.97%)	26,327	16,675 (63.34%)	1,146,285	1,054,008 (91.95)

\* Data not available.

Camburiú and Boa Viagem beaches are examples of heavy urbanization of the littoral fringe, but nowadays almost all Brazilian coastal towns show verticalization over the last 20 years. Along the beaches of São Luís municipality, dunes, cliffs and even the intertidal zone have been occupied by houses, hotels, restaurants, bars, commercial and residential buildings, paved roads and walkways. This verticalization is prominent at Ponta da Areia and São Marcos beaches, where erosional problems have been reported (Pereira et al., 2011). Natural services provided by the dunes and restinga vegetation have disappeared with the loss of these coastal components, probably contributing to the erosion observed along the coastal fringe. Where in the past there were dunes and restinga, today concrete walls, riprap and skyscrapers exist that cannot fully protect the coastline from extreme natural events. According to Pereira et al. (2011), erosion of Maranhão Island beaches is a seasonal and spatially variable phenomenon, with approximately 32,000 m<sup>3</sup> of sediment being transported off the island's beaches mainly during the rainy season. Dune vegetation also plays an important role in controlling wind erosion along coasts, preventing the migration of dune fields towards urban, farming and vegetated areas (Buynevich et al., 2010; Durán and Moore, 2013).

As for other beaches worldwide and apart from the direct consequences of vegetation losses on Maranhão Island, uncontrolled urbanization has other environmental impacts on coastal zones, such as hindering wind circulation, shading of beaches, and pollution. Intense beach use by beachgoers and resultant amenities and leisure infrastructure (e.g. public showers, lighting, etc.), contribute to the degradation of the beach ecosystem. Furthermore, the lack of an appropriate sanitation system can lead to illegal sewage outlets on the beaches or discharges into nearby rivers and streams (Silva et al., 2011). Silva et al. (2009) reported 101 such illicit sewage outlets, most of them located along Ponta de Areia and São Marcos beaches. Until recently, levels of faecal contamination in Maranhão Island coastal waters were usually above safe levels, and some beaches were unsuitable for bathing (Pereira et al., 2011; Trindade et al., 2011). In the last 3 years, the Maranhão State Environment Secretariat has endeavoured to reduce faecal pollution at these beaches (SEMA, 2016), although no independent evaluation is currently available. The environmental situation is much better at Carimã Beach, where vegetation losses amount to only 0.3 ha over the last 20 years. The existence of a natural channel that isolates this beach and the low urbanization rate of the nearby municipality have limited urban pressure thus far at this location. Instead, natural wind-governed dune dynamics that bury vegetation under sand are likely responsible for the low vegetation loss at this beach.

## 5. Concluding remarks

Explanation for tropical deforestation have been attributed to single or multiple factors, acting in both local and regional scales (Geist and Lambin, 2002). We investigated the loss of vegetation in Maranhão Island in a recent period of 20 years and discussed our results in the light of the literature. Among the natural drives that could have any influence in the local deforestation (flooding, droughts, fires, sea level rise, pest diseases, uncontrolled growth of population grassers etc.), nothing is reported in the literature that could be pointed to the losses observed in the present study. Sea level rise is forecasted

due to global warming and in the future the restinga could be threatened by this factor since is the most vulnerable vegetated habitat because its proximity to seawater line. Regarding anthropogenic causes (farming, cattle raising, timber extraction, mining, palm oil extraction, dam, manmade fires, manmade disasters, and infrastructure) our results and literature indicated that the local deforestation was probably caused by demographic and economic factors.

The landscape of Maranhão Island has been changing rapidly over the last 20 years, resulting in a loss of coastal vegetation. This loss in the coastal zone is probably linked to the growth of the island's urban population over the same period. Beaches closer to urban centres and with relatively good environmental conditions in 1995 showed the greatest loss of vegetation, demonstrating that urbanization was the main driver in this process. Since space at those beaches is lacking or unsuitable for new buildings, we expect that urbanization driven by the real estate market will increasingly impact the beaches of the other municipalities in the coming years.

Although Brazil has a modern environmental conservation policy and efforts have been made to halt deforestation rates, forests and other natural landscapes remain threatened. Historical use of land before enactment of environmental legislation is partly responsible for the loss of vegetation. However, many of the present threats persist because illegal practices are not efficiently prosecuted by those responsible for enforcing the law. Six

Environmentally Protected Sites (EPS) were created on Maranhão Island from 1991 to 2007, covering a total of 6640,28 ha. However, these EPS are not always effective, and the loss of vegetation described in our results occurred despite the dune-fixing restinga and mangroves being classified as permanently preserved ecosystems under Brazilian environmental legislation. Maranhão Island's Sítio Rangedor Ecological Station (ecological stations and biological reserves are the two top permanent conservation units according to the Brazilian system) is a primary example of a non-functioning "paper" EPS. The Legislative Assembly of Maranhão State is located within this ecological station, but pressure from the real estate market is responsible for the deforestation currently observed within it because of the high market value of its lands. This ecological station represents an astonishing example of environmental legislation not guaranteeing adequate environmental preservation. Recently, Silva et al. (2013) presented a set of actions to limit the environmental degradation of Maranhão Island. However, enactment of a management plan or other regulatory instrument for coastal zone use will not be effective without the engagement of the local populace to adopt good environmental practices and denounce illegal ones, and the action of public servants to ensure that governance practices strictly adhere to existing legislation.

## References

- Alberti, M., 2010. Maintaining ecological integrity and sustaining ecosystem function in urban areas. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2, 178–184.
- Alves-Pinto, H., Latawiec, A.E., Strassburg, B.B.N., Barros, F.S.M., Sansevero, J.B.B., Iribarremma, A., Crouzeilles, R., Lemgruber, L., Rangel, M.C., Silva, A.C.P., 2017. Reconciling rural development and ecological restoration: strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. *Land Use Policy* 60, 419–426.
- Assunção, J., Gandour, C., Pessoa, P., Rocha, R., 2017. Property-level assessment of change in forest clearing patterns: the need for tailoring policy in the Amazon. *Land Use Policy* 66, 18–27.

- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R., 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem. *Ecol. Monog.* 81, 169–193.
- Bertolo, L.S., Lima, G.T.N.P., Santos, R.F., 2012. Identifying change trajectories and evolutive phases on coastal landscapes. Case study: São Sebastião Island Brazil. *Landscape Urban Plan.* 106, 115–123.
- Brown, A.C., McLachlan, A., 2002. Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environ. Conserv.* 29, 62–77.
- Buynevich, I.V., Souza-Filho, P.W.M., Asp, N.E., 2010. Dune advance into a coastal forest: equatorial Brazil: a subsurface perspective. *Aeolian Res.* 2, 27–32.
- Calvão, C., Teresa, A., Pessoa, M., Cebolalidón, F., 2013. Impact of human activities on coastal vegetation—a review. *Emir. J. Food Agric.* 12, 926–944.
- Carbone, M., Carranza, M.L., Acosta, A., 2009. Assessing conservation status on coastal dunes: a multiscale approach. *Landscape Urban Plan.* 91, 17–25.
- Dahdouh-Guebas, F., 2002. The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. *Environ. Dev. Sustain.* 4, 93–112.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., Scapini, F., 2009. Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 81, 1–12.
- Dias, J.A.A., Carretero, F.I., Isla, M., Mahiques, M., 2013. Anthropogenic impacts on Iberoamerican coastal areas: historical processes present challenges, and consequences for coastal zone management. *Ocean Coast. Manag.* 77, 80–88.
- Doxa, A., Albert, C.H., Leriche, A., Saatkamp, A., 2017. Prioritizing conservation areas for coastal plant diversity under increasing urbanization. *L. Environ. Manage.* 201, 425–434.
- Durán, O., Moore, L.J., 2013. Vegetation controls on the maximum size of coastal dunes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 17217–17222.
- Feagin, R.A., Sherman, D.J., Grant, W.E., 2005. Coastal erosion, global sea-level rise, and the loss of sand dune plant habitats. *Front. Ecol. Environ.* 3, 359–364.
- Feist, B.E., Levin, O.S., 2016. Novel indicators of anthropogenic influence on marine and coastal ecosystems. *Front. Mar. Sci.* 3, 1–13. <http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2016.00113>.
- Freire, M.C.C.C., Monteiro, R., 1993. Florística das praias da Ilha de São Luís: estado do Maranhão (Brasil): diversidade de espécies e suas ocorrências no litoral brasileiro. *Acta Amazon.* 23, 125–140.
- Freire, S.T., Santos, T., Tenedório, J.A., 2009. Recent urbanization and land use/land cover change in Portugal—the coastline and coastal urban centers. *J. Coast. Res.* 56 (SI), 1499–1503.
- Gómez-Pina, G., Muñoz-Pérez, J.J., Ramírez, J.L., Ley, L., 2002. Sand dune management problems and techniques. Spain. *J. Coast. Res.* 36 (SI), 325–332.
- Galindo-Leal, C., Câmara, I.G., 2003. Atlantic Forest hotspot status: an overview. In: Galindo-Leal, C., Câmara, I.G. (Eds.), *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats and Outlook*. Island Press, Washington, pp. 3–11.
- Geist, H.J., Lambin, E.F., 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *Bioscience* 52, 143–150.
- Heuman, B.W., 2011. Satellite remote sensing of mangrove forests: recent advances and future opportunities. *Prog. Phys. Geog.* 35, 87–108.
- INMET, 2016. Instituto Nacional De Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br> (Accessed 1 August 2016).
- Lai, S., Loke, L.H.L., Hilton, M.J., Bouma, T.J., Todd, P.A., 2015. The effects of urbanisation on coastal habitats and the potential for ecological engineering: a Singapore case study. *Ocean Coast. Manage.* 103, 78–85.
- Lai, S., Leone, F., Zoppi, C., 2017. Land cover changes and environmental protection: a study based on transition matrices concerning Sardinia (Italy). *Land Use Policy* 67, 126–150.
- Lapolá, D.M., Martinelli, L.A., Peres, C.A., Ometto, J.P.H.B., Ferreira, M.E., Nobre, C.A., Aguiar, A.P.D., Bustamante, M.M.C., Cardoso, M.F., Costa, M.H., Joly, C.A., Leite, C.C., Moutinho, P., Sampaio, G., Strassburg, B.B.N., Vieira, I.C.G., 2014. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nat. Clim. Change* 4, 27–35.
- Lawrence, D., Vandecar, K., 2015. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nat. Clim. Change* 5, 27–36.
- Leewis, L., van Bodegom, P.M., Rozema, J., Janssen, G.M., 2012. Does beach nourishment have long-term effects on intertidal macroinvertebrate species abundance? *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 113, 172–181.
- Magarotto, M.G., Costa, M.F., Tenedório, J.A., Silva, C.P., 2016. Vertical growth in a coastal city: an analysis of Boa Viagem (Recife, Brazil). *J. Coast. Conserv.* 20, 31–42.
- Martínez, M.L., Maun, M.A., Psuty, N.P., 2008. The fragility and conservation of the world's coastal dunes: Geomorphological, ecological and socioeconomic perspectives. In: Martínez, M.L., Psuty, N.P. (Eds.), *Coastal Dunes. Ecological Studies*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 355–369.
- Martins, M.C., Neto, C., Costa, J.C., 2013. The meaning of mainland Portugal beaches and dunes' psammophilic plant communities: a contribution to tourism management and nature conservation. *J. Coast. Conserv.* 17, 279–299.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being Conditions and Trends*. Island Press, Washington.
- Moreira, M.A., 2011. Fundamentos De Sensoriamento Remoto E Metodologias De Aplicação, ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858.
- Nandy, S., Kushwaha, S.P.S., 2010. Geospatial modelling of biological richness in Sunderbans. *J. Ind. Soc. Remote Sens.* 38 (SI), 431–440.
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J., Nicholls, R.J., 2015. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding – A global assessment. *PLoS One*. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0118571>.
- Nicholls, R.J., Cazenave, A., 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 328, 1517–1520.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D., 2007. Coastal systems and low-lying areas. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 315–356.
- Pereira, L.C.C., Vila-Concejo, A., Trindade, W.N., Short, A.D., 2011. Influence of highenergy conditions on beach changes in tide-dominated (Amazon, Brazil) and wave-dominated (NSW, Australia) coastal environments. *J. Coast. Res.* 64, 115–119.
- Pereira, L.C.C., Trindade, W.N., Silva, I.R., Vila-Concejo, A., Short, A.D., 2016. Maranhão beach systems, including the human impact in São Luís beaches. In: Short, A.D., Klein, A. (Eds.), *Brazilian Beach Systems Coastal Research Library* 17. Springer, Switzerland, pp. 125–152.
- Potter, C., 2013. Ten years of landcover change on the California coast detected using Landsat satellite image analysis: part 2—San Mateo and Santa Cruz counties. *J. Coast. Conserv.* 17, 709–718.
- Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.P., Ponzoni, F.J., Hirota, M.M., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol. Conserv.* 142, 1141–1153.
- Rocha, C.F.D., Bergallo, H.G., Van Sluys, M., Alves, M.A.S., Jamel, C.E., 2007. The remnants of resting habitats in the Brazilian Atlantic Forest of Rio de Janeiro state: Brazil: Habitat loss and risk of disappearance. *Brazil. J. Biol.* 67, 263–273.
- SEMA, 2016. Technical Note on Beach Balneability Monitoring. [www.sema.ma.gov.br](http://www.sema.ma.gov.br) (in Portuguese). (Accessed on 11 November 2016).
- Saatchi, S., Agosti, D., Alger, K., Delabie, J., Musinski, J., 2001. Examining fragmentation and loss of primary forest in the southern Bahian Atlantic Forest of Brazil with radar imagery. *Conserv. Biol.* 15, 867–875.
- Sale, P.F., Agardy, T., Ainsworth, H., et al., 2014. Transforming management of tropical coastal seas to cope with challenges of the 21st century. *Mar. Pollut. Bull.* 85, 8–23. Santana-Cordero, A., Bürg, M., Hersperger, A.M., Hernández-Calvento, L., Monteiro Quintana, M., 2017. A century of change in coastal sedimentary landscapes in the Canary Islands (Spain)—Change, processes, and driving forces. *Land Use Policy* 68, 107–116.
- Santos, J.H.S., 1996. Análise Por Geoprocessamento Da Ocupação Na Franja Costeira Ao Norte Da Cidade De São Luís – MA. Dissertation. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Schlacher, T.A.D., Schoeman, S., Dugan, J., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., McLachlan, A., 2008. Sandy beach ecosystems: key features sampling issues, management challenges and climate change impacts. *Ecology* 29, 70–90.
- Sciandrello, S., Tomaselli, G., Minissale, P., 2015. The role of natural vegetation in the analysis of the spatio-temporal changes of coastal dune system: a case study in Sicily. *J. Coast. Conserv.* 19, 199–212.
- Serra, F.C.V., Lima, P.B., Almeida Jr., E.B., 2016. Species richness in restinga vegetation on the eastern Maranhão State Northeastern Brazil. *Acta Amazon.* 46, 271–280.
- Seto, K.C., Güneralp, B., Hutyra, L.R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109, 16083–16088.
- Short, A.D., 2006. Australian beach systems—nature and distribution. *J. Coast. Res.* 22, 11–27.
- Silva, J.M.C., Casteletti, C.H.M., 2003. Status of the biodiversity of the Atlantic Forest of Brazil. In: Galindo-Leal, C., Câmara, I.G. (Eds.), *The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. CAB International, Wallingford, pp. 43–59.
- Silva, I.R., Pereira, L.C.C., Guimarães, D.O., Trindade, W.N., Asp, N., Costa, R.M., 2009. Environmental status of urban beaches in São Luís (Amazon coast, Brazil). *J. Coast. Res.* 56 (SI), 301–305.
- Silva, R.M., Mehlig, U., Santos, J.U.M., Menezes, M.P.M., 2010. The coastal restinga vegetation of Pará: Brazilian Amazon: a synthesis. *Rev. Brasil. Bot.* 33, 563–573.
- Silva, I.R., Pereira, L.C.C., Souza, R.C., Oliveira, S.M.O., Guimarães, D.O., Costa, R.M., 2011. Amazon beaches (São Luís, Brazil): Recreational use, environmental indicator, and the perception of beachgoers. *J. Coast. Res.* 64 (SI), 1287–1291.
- Silva, I.R., Pereira, L.C.C., Trindade, W.N., Magalhães, A., Costa, R.M., 2013. Natural and anthropogenic processes on the recreational activities in urban Amazon beaches. *Ocean Coast. Manage.* 76, 75–84.
- Silva, J.M.C., Prasad, S., Diniz-Filho, J.A.F., 2017. The impact of deforestation urbanization, public investments, and agriculture on human welfare in the Brazilian Amazonia. *Land Use Policy* 65, 135–142.
- Souza-Filho, P.W.M., 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Rev. Brasil. Geof.* 23, 427–435.
- Szlafstein, C.F., 2012. The Brazilian Amazon coastal zone management: implementation and development obstacles. *J. Coast. Conserv.* 16, 335–343.
- Tabarelli, M., Aguiar, A.V., Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Peres, C.A., 2010. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. *Biol. Conserv.* 143, 2328–2340.
- Taylor, E.B., Gibeaut, J.C., Yoskowitz, D.W., Starek, M.J., 2015. Assessment and monetary valuation of the storm protection function of beaches and foredunes on the Texas coast. *J. Coast. Res.* 31, 1205–1216.

- Thompson, L.M.C., Schlacher, T.A., 2008. Physical damage to coastal dunes and ecological impacts caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: a case study from Fraser Island Australia. *J. Coast. Conserv.* 12, 67–82.
- Trindade, W.N., Pereira, L.C.C., Guimarães, D.O., Silva, I.R., Costa, R.M., 2011. The effects of sewage discharge on the water quality of the beaches of São Luís (Maranhão, Brazil). *J. Coast. Res.* 64, 1425–1429.
- Turner, B.L., Lambin, E.F., Reenberg, A., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 20666–20671.
- United Nations Environment Program-UNEP, 2016. Cities and Coastal Areas. [http://www.unep.org/urban\\_environment/issues/coastal\\_zones.asp](http://www.unep.org/urban_environment/issues/coastal_zones.asp) (Accessed on 20 September).
- Valpreda, E., Simeoni, U., 2003. Assessment of coastal erosion susceptibility at the national scale: the Italian case. *J. Coast. Conserv.* 9, 43–48.
- Veloso, V.G., Neves, G., Lozano, M., Perez-Hurtado, A., Gago, C.G., Hortal, F., GarcíaGarcía, F., 2008. Responses of talitrid amphipods to a gradient of recreational pressure caused by beach urbanization. *Mar. Ecol.* 29, 126–133.
- World Health Organization - WHO, 2016. Global report on urban equitable, healthier cities for sustainable development health. WHO/UN-Habitat, Geneva.
- Xie, Y., Zongyao, S., Yu, M., 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *J. Plant Ecol.* 1, 9–23.

## CAPÍTULO 2

URBANIZAÇÃO COSTEIRA E IMPACTOS ANTROPOGÊNICOS NUMA ILHA TROPICAL DA  
ZONA COSTEIRA DA AMAZÔNIA, NO SUDOESTE DO ATLÂNTICO

**Journal of Coastal Conservation**  
**Coastal urbanization and anthropogenic impacts in a tropical island of the**  
**Amazon coastal zone, Southwestern Atlantic**

-Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	Coastal urbanization and anthropogenic impacts in a tropical island of the Amazon coastal zone, Southwestern Atlantic
Article Type:	Original Research
Keywords:	Brazilian coastline; remote sensing imagery; coastal land uses; environmental impacts; beach litter
Corresponding Author:	Abilio Soares-Gomes Universidade Federal Fluminense Niterói, BRAZIL
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Universidade Federal Fluminense
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Joherbeth Carlos Lima Rêgo, MSc
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Joherbeth Carlos Lima Rêgo, MSc Fabrício Silva, Msc Marianna Basso JORGE, PhD Gabriel Santos, Bsc Jamiellison Cunha, Bsc Ana Caroline Guimarães CORRÊA, Bsc Marcelino Silva FARIAS-FILHO, PhD Abilio Soares-Gomes
Order of Authors Secondary Information:	
Funding Information:	
Abstract:	<p>The evolution of São Luís coastland uses was analysed by satellite imagery from 2012 to 2017. Our results demonstrate a tendency of increasing urbanization rate started in 1990's drove by public investments that improved the local infrastructure.</p> <p>Environmental problems related to urbanization worldwide has been observed in São Luís beaches, specially sewage contamination and beach littering. Sewage discharges in the municipal beaches in 1990's led to heavy contamination by faecal matter that affected the balneability of the beaches and hence the local tourism. Public investments started in 2012 in sanitation seemed to be effective and today most of the local beaches are proper for bathing. Beach littering is yet an issue that deserves attention by the public authorities and beach users.</p>
Suggested Reviewers:	Luci Pereira Universidade Federal do Para cajueiro@ufpa.br expert in Amazonian environment  Saverio Sciandrello University of Catania sciandrello.s@hotmail.it expert in coastal impacts

Dear Editor,

I would appreciate very much you consider our submitted manuscript “Coastal urbanization and anthropogenic impacts in a tropical island of the Amazon coastal zone, Southwestern Atlantic” for the peerreview process by Journal of Coastal Conservation.

The sprawl of urban centers is an extreme form of ecological disturbance and landscape transformation worldwide and monitoring its effects is vital for management efforts. We describe and discuss the evolution of the urban changes in a town of the Amazonian coastal zone and some related anthropogenic issues, reporting ameliorations resulting from sanitary initiatives by the local authorities. We believe our work fits to the aims of the journal and will have a good audience for the expert, stakeholders and the public, in general.

**Coastal urbanization and anthropogenic impacts in a tropical island of the Amazon coastal zone, Southwestern Atlantic.**

Joherbeth Carlos Lima Rêgo<sup>1</sup>; Fabrício Sousa da SILVA<sup>2</sup>; Marianna Basso JORGE<sup>3</sup>; Gabriel Silva dos SANTOS<sup>3</sup>; Jamiellison do Nascimento CUNHA<sup>4</sup>; Ana Caroline Guimarães CORRÊA<sup>4</sup>; Marcelino Silva FARIAS-FILHO<sup>5</sup>; Abilio SOARES-GOMES<sup>6</sup>.

Ocean and Earth Dynamic Graduate Program Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brazil.  
joherbethrego@hotmail.com

2. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recurso Naturais do Maranhão, São Luís, MA, Brazil and Departamento de Engenharia Ambiental e Química da Faculdade Pitágoras, São Luís, MA, Brasil.  
fabriciosousasilv@gmail.com

3. Laboratório de Ecotoxicologia, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brazil. mb.jorge@ufma.br/gabrielsils10@gmail.com

4. Grupo de Estudos e Pesquisa em Edafologia e Pedologia – GEPEPE- Universidade Federal do Maranhão, Brazil. jamgeoufma@gmail.com/caroline.g.correa@hotmail.com

5. Departamento de Geociência Universidade Federal do Maranhão, São Luís, MA, Brazil.  
marcelinobrasil@gmail.com

6. Marine Biology Department Universidade Federal Fluminense, P.O.Box 100.644, Niterói, RJ, Brazil. 24001-970. Phone: 55-21-26292309. abilosg@id.uff.br

The evolution of São Luís coastland uses was analysed by satellite imagery from 2012 to 2017. Our results demonstrate a tendency of increasing urbanization rate started in 1990's drove by public investments that improved the local infrastructure. Environmental problems related to urbanization worldwide has been observed in São Luís beaches, specially sewage contamination and beach littering. Sewage discharges in the municipal beaches in 1990's led to heavy contamination by faecal matter that affected the balneability of the beaches and hence the local tourism. Public investments started in 2012 in sanitation seemed to be effective and today most of the local beaches are proper for bathing. Beach littering is yet an issue that deserves attention by the public authorities and beach users.

**Key words:** Brazilian coastline; remote sensing imagery; coastal land uses; environmental impacts; beach litter

1      1. Introduction

2            Coastal zones are transitional systems where landmass and sea interact (Lewis et al., 2012),  
3            being occupied by humankind since immemorial times (Marean et al., 2007; Strasser et al., 2010;  
4            Bailey, 2010). Diverse features of coastal zones make them valuable sites for human purposes like  
5            sheltering, harbouring and food harvesting. Humans are also attract to coasts by their mysteries and  
6            beauties what makes beaches sites of great recreational, sightseeing, cultural and spiritual appeal  
7            (Thompson & Schlacher, 2008; Defeo et al., 2009). Although coasts represent a minor fraction of the  
8            world surface, the majority the marine fishing captures come from their waters (UNEP, 1992) so their  
9            importance for human feeding. Coasts provide proportionally more services and goods for humans  
10          than other ecosystems, even those that cover greater areas (Millennium Ecosystem Assessment,  
11          2005), such as prevention of erosion, water purification, carbon sequestration and biodiversity  
12          maintenance (Barbier et al. 2011; Taylor et al., 2015).

13            Historic occupation and favourable conditions has resulted in a heavy occupation of coasts by  
14          humans. At present, about half of human population live in a 100 km nearshore band and most of the  
15          world megacities (> 8 million people) are settled in the coastal zones (UNEP, 2016), with 1.36 billion  
16          people living in tropical coasts (Nicholls et al., 2007; Sale et al., 2014). The persistence of the present  
17          tendencies will result in a world population of 11.3 billion people in 2060, with 1.4 billion living in  
18          megacities located in places situated in a maximum of 10 meters above sea level (World Ocean  
19          Review, 2017). The occupation of the coasts has provided unparalleled economic benefits for humans  
20          but also led to a massive transformation of the landscape and the emergence of ecological, economic  
21          and social issues with coastal urbanization becoming one of the main environmental challenge  
22          nowadays (Burt et al., 2019).

23            In Latin America, Brazil is the country with the longer coast, extending for 9,200 Km  
24          (Dominguez, 2009). The urban Brazilian population is near 86% (The World Bank, 2017) with about  
25          a quarter of the national population inhabiting the coastal zone (~ 46 million people), distributed in

26 400 municipalities (Poletti & Lins-de-Barros, 2012). Among cities with urbanization rate between 80  
27 to 100%, about 46% are coastal cities compared to 27% of municipalities located out off the coast.  
28 Although the Southeast-South be the most populated and urbanized region, in the last 30 years the  
29 other regions of the country are developing quickly, resulting in an increasing population and urban  
30 sprawl like the states located in the Brazilian Amazon sector (Silva et al., 2017). Maranhão is the  
31 southernmost state of the Brazilian Amazon which capital, São Luís, is located in the Maranhão  
32 Island. The increment in the island urban population observed in the last 40 years was drived by  
33 national programs as part of industrial policies adopted to improve the development of the country. In  
34 the Northeast region, the Great Carajás Program (“Programa Grande Carajás”) created the São Luís  
35 Industrial District, including the establishment of two mining companies, two harbors and a railway in  
36 the western portion of the island. Consequently, the offer of employment by those enterprises attracted  
37 people from the rural area of the Maranhão State and from other parts of the country leading to a rise  
38 in the local population and urban sprawl. Later, initiatives to develop the local tourism (in 1997 the  
39 São Luís city was proclaimed a UNESCO World Cultural Heritage Site) was responsible for a second  
40 wave of population growth and urban sprawl (Rêgo et al., 2018).

41 The sprawl of urban centers is perhaps the extreme form of ecological disturbance and  
42 landscape transformation worldwide (Grimm et al., 2008). The major threatens reported for Brazilian  
43 coast are oil spills (Baptista el al., 2013; Camargo et al., 2017), mining of rhodolith beds and beach  
44 sands (Santos et al., 2016; Lauria & Rochedo, 2005), chemical and thermic pollution (Teixeira et al.,  
45 2012; Rodrigues et al., 2017), marine litter (Ivar do Sul & Costa, 2007), faecal contamination  
46 (Oliveira et al., 2010), heavy metal pollution (Baeyens et al 2019), bioinvasions (Ferreira et al., 2009)  
47 and overfishing (Bender et al., 2014).

48 The consciousness of the problems caused by coastal urbanization imposes the necessity of  
49 changes to remediate or reduce the related-problems and guarantee the services and wellbeing they  
50 provide for humans. Management plans are useful tools for the regulation of environmental, social

51 and economic coastal zones issues, efficient plans based on evaluations of the present land uses and  
52 solid scientific knowledge. Aiming to minimize and prevent the impacts in coastal zones, Integrated  
53 Coastal Zone Management (ICZM) programs have been promoting and implemented in many coastal  
54 countries (Sorensen, 1993; Post & Lundin, 1996). In Brazil, ICZM is part of the National Coastal  
55 Management Plan (NCMP) formulated by the federal government with the participation of diverse  
56 players. The NCMP preconizes actions for territorial planning of coastal zones based on international  
57 standards. One of the needs to implement ICZM is the Macrodiagnosis of Coastal Zone (MCZ) that  
58 provides data for a diagnostic and territorial planning based on legislative, socioeconomic and  
59 ecological indicators (Klumb-Oliveira & Souto, 2015). Mapping is an efficient tool that can provide  
60 accurate and detailed information on land uses, being frequently used in the MCZ. Modern mapping is  
61 done by satellite imagery and digital image processing since them quickly provides both spatial and  
62 multi-temporal data in different scales (Daunt & Silva, 2109; Lai et al., 2017), existing many works  
63 using these technique for mapping coastal uses and shoreline conditions (e.g. Li et al., 2016; Freire et  
64 al., 2009; Shalaby & Tateishi, 2007; Malthus & Mumbi, 2003).

65 Our work aims to contribute to the diagnostic of land uses of the Brazilian Amazon coast,  
66 describing the occupation of the coastal zone of the most urbanized part of the Maranhão Island based  
67 on satellite imagery and discuss some consequences of the urbanization process in the island,  
68 including the occurrence of sewage discharges and presence of litter in the beaches.

69

## 70 2. Material & Methods

### 71 2.1. Study Area

72 The Maranhão Island is located in the Amazonian sector of the Brazilian coast, comprising  
73 four municipalities: São Luís, São José do Ribamar, Raposa and Paço de Lumiar. Over one million  
74 people live in the island (1223,42 inhabitants Km<sup>-2</sup>), most of them in São Luís (IBGE, 2017), capital  
75 city of the Maranhão State. Industry and services (tourism, shipping, fishery and trades) are the main

76 economic activity in the island (Pereira et al., 2016). The vegetation cover of the island changed  
77 massively in last 20 years (losses accounting to 146 ha), linked with the rise of the urban population  
78 that followed the establishment of industrial projects, tourism increment and the real estate market  
79 (Rêgo et al., 2018).

80 There are 60 tide-dominated beaches in the island, composed manly by fine quartz sands.  
81 Tides are semi-diurnals, with the extremes high water levels ranging from 7.0 to 2.5 m (DHN, 2009).  
82 Local climate is tropical raining (AW Köppen type), with a well-defined raining (January to June) and  
83 dry (July to December) seasons. Mean annual air temperature is about 27° C with little variation along  
84 the year and the annual precipitation is about 2,200 mm.

85 Our study area is located in the more urbanized region of the island, on the northern portion, at  
86 São Marcos Bay, including Ponta da Areia, São Marcos, Calhau, Olho d'Água and Carimã beaches,  
87 totaling 23 Km<sup>2</sup> (Fig. 1).

88

## 89 2.2. Land uses mapping by satellite imagery

90 Land use components was georeferenced during a field trip with the aid of a Garmim Etrex 10  
91 GPS aiming to support the identification of the orbital scene. The “countors” tool of the ArcGis 10.5  
92 software was applied to create topographic maps of the studied area, using SRTM Mission, sheet SA-  
93 23-ZA data of digital elevation, available at Earth Explorer digital site  
94 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Land uses were mapping by supervised classification of orbital  
95 images from Landsat OLI-8 obtained in 07/04/2012 from 221 orbit, point 62, make available by the  
96 Earth Explorer. Image processing was run in ENVI 5.0 computer system by composing RGB OLI 8  
97 colors with 6/5/4 bands, that correspond to red, near infrared and median infrared of the  
98 electromagnetic spectrum, used to mapping land use (Moreira, 2011). Next, we performed a  
99 supervised classification by the MaxVer algorithm, defining the main classes of land cover get in the  
100 previous step: vegetation cover, dunes, cliffs, water bodies, buildings, pavements and roads. At least,

101 samples of distinct land uses were extract using ENVI 5.0 to generate a map of uses and occupation of  
102 the Maranhão Island.

103

104 2.3. Sewage outflows

105 A mapping of sites of sewage outflows were done based on data obtained during two field trips  
106 performed in October, 2012 and February, 2017 when pipes and the occurrence of discharge was  
107 visually determined and georeferenced with the aid of a Garmim Etrex 10 GPS.

108

109 2.4. Beach debris

110 Beach macro debris were evaluated in Olho d'Água and Ponta da Areia beaches in October  
111 2018. The sampling design consisted in two 60m x 4m section that were divided in 6 sub-section of  
112 20m X 4m positioned parallel to water line in the drift line. In each section the macro debris were  
113 hand-picked in an extension of 8m, 4m in each side of a demarcated central line (Figure 2). Differences  
114 in the weights of total and plastic debris among beaches were verified by *t*-test for independent  
115 variables. Data were lognormal and the variances were heterogeneous, thus we used the *t*-test with  
116 separate variance estimates (Welch correction)

117

118 3. Results

119 Figure 3 shows the land use and occupation in 2012, unveiling changes in the local landscape  
120 provoked by the overgrowing of the urban structures on coastal vegetation, dunes and backshore.  
121 Buildings occupied 35%, vegetation 22%, paved roads 10%, cliffs 7% and 7% of the land were  
122 occupied by water from swimming pools. The topography of the coastal fringe in 2012 ranged from  
123 five to 40 m, higher elevations represented by remnant dunes (Fig. 4).

124 The use of the São Luís coast by tourism and urban infrastructure in each beach is show in  
125 figure 5. Were counted 56, 28 and 26 trash bins in Ponta da Areia, Calhau and Olho d'Água,

126 respectively. Regarding street lighting, Ponta d'Areia is the most served beach, with 134 lampposts,  
 127 with only 40 and 17 lampposts serving São Marcos and Calhau, respectively. Food commercial  
 128 houses (bars, restaurants) are more numerous in Calhau (48), followed by São Marcos (32) and São  
 129 Marcos (25). Hotel network is more concentrated in Calhau and Ponta d' Areia (20 hotels) with just  
 130 three hotels located at Olho d'Água. Other touristic attraction (4 discos and 4 public parks) are present  
 131 only in Ponta d'Areia and Calhau beaches.

132 The sites where existed discharge of sewage in 2012 is shown in figure 6. There were 10 active  
 133 and four inactive sites, most of active ones found in Ponta d'Areia and São Marcos beaches.  
 134 According to a report published by SEMA in 2016 after implementation of sanitary actions, only two  
 135 sites located at Ponta d'Areia and Olho d'Água were improper for bathing (Table 1). In 2017, only  
 136 one site was active (Fig. 7). The diameter of sewage pipes that discharge in the littoral range from 15  
 137 to 90 cm (Fig. 8).

138 Figures 9 and 10 show the beach debris found in Ponta d'Areia and Olho d'Água beaches.  
 139 The major material of both beaches was plastic that summed 150 from 192 debris units, followed by  
 140 glass, paper and metal. Regarding weight, we retrieved a greater load of debris in Ponta d'Areia than  
 141 in Olho d'Água, both for the total and plastic debris although the total units was greater in Olho  
 142 d'Água. According to the *t*-test, differences in the weight of total and plastic debris sampled in Ponta  
 143 d'Areia and Olho d'Água were statistically significant ( $t_{173} = -4.66$ ,  $p < 0.0001$  and  $t_{107} = -2.73$ ,  $p <$   
 144 0.01, respectively). Wraps and disposable cutlery (cups, knives and spoons) was the more frequent  
 145 plastic rubbish items sampled. Regarding fragments, rope fibers, styrofoam and pieces of hard and  
 146 soft plastic were the more common items.

147

#### 148 4. Discussion

149 The São Luís coastal fringe here studied is a Low Elevated Coastal Zone (the coastal area that  
 150 is < 10 m above sea level) according to the World Ocean Review (2017), where the only topography

151 features higher than 10 m are the remnant dunes. The urbanization rate of this zone in 2012 was about  
152 60%, with tendency of increasing, following the rate of vegetation loss observed in the last 20 years  
153 reported by Rêgo et al. (2018). Urbanization of coastal areas has expanded rapidly in the last decades  
154 in different parts of the world such as the Mediterranean (Carboni et al., 2009), Arabian Gulf (Burt,  
155 2014), Asian (Lai et al., 2016), Pacific (Potter, 2013), and Caribbean and Latin America (Simpson et  
156 al., 2012). This global phenomenon of coastal zones urbanization resulted from the demand for  
157 wellbeing and socioeconomic reasons. Although Low Elevated Coastal Zones cover less than 2% of  
158 the world's coastal lands, they house about 10% of the humankind (McGranahan et al., 2007). The  
159 increasing of coastal population is followed by habitat loss and other anthropogenic-related  
160 environmental threats caused by the demanding of space for housing and infrastructure. Besides  
161 ecological impacts, the huge urbanization of the coasts imposes risks for the human population  
162 inhabiting these zones, especially populations living in coastal lowlands that are more vulnerable to  
163 impacts of climate change and sea level rise (Li et al., 2016).

164 The mean demographic density of São Luís is  $> 170$  inhabitants  $\text{K}^{-2}$ , and as well as in other  
165 coasts in the world that faced a huge urban increment, it has been suffering from anthropogenic  
166 impacts. The main local impacts are the loss of vegetation (Rêgo et al., 2018), erosion (Pereira et al.,  
167 2016), sewage contamination (Trindade et al., 2011), changes in microclimate (Marsullo, 2016) and  
168 beach littering (Nunes et al., 2018). Additionally, natural, social and technological risk analysis on  
169 Brazilian Coastal Zone indicated that three of the four capitals of the Brazilian North region (São  
170 Luís, Macapá and Belém) are high or very high vulnerable sites. This vulnerability is because a  
171 combination of lowlands, low population income, poor or lacking of basic services and industrial  
172 activities (metallurgy and pulp and cellulose mill) (Nicolodi & Pettermann, 2011).

173 About ten years ago, the most populated beach in São Luís was São Marcos and Calhau was  
174 the least occupied (Silva et al., 2009). There was a shift in the land occupation dynamic and today the  
175 land occupation in Calhau is much higher owing to the use of the backshore by kiosks and apartment

176 buildings that caused a suppression of the original habitats- dunes, shrub coastal vegetation and  
177 mangrove forests. According to Marsullo (2016), the shift in the occupation of these two beaches was  
178 drove by the built of a boardwalk in the beachfront during 1990's. Besides habitat losses, buildings  
179 above 10 floors have been causing shading in the beach during afternoon (it is a visible feature in  
180 satellite images) and according to Santos et al. (2012) changed the topography and increased the urban  
181 drainage to the beach as has been reported to other sites of the Amazon coast (Pereira et al., 2007).  
182 Today, the beaches with best urban infrastructure, greater commerce units and residence buildings are  
183 Ponta d'Areia and Calhau, the former showing a greater verticalization rate and having the higher  
184 economic standards buildings. In the past, São Marcos was the beach preferred by the high-income  
185 population but because the deterioration of the environmental quality of the beach there was a shift in  
186 the real estate market searching to attend the new demands (Silva et al., 2009). Compared to Calhau,  
187 Ponta d'Areia has today a best urban infrastructure thanks to municipal investments such as public  
188 lighting and lazer options. Because of the presence of concrete structure, paved roads and the  
189 verticalization of the constructions, there was a change in the local microclimate, including thermic  
190 ranges (Marsullo, 2016). It is unknown the effect of urban green space losses for the public health of  
191 São Luís inhabitants as has being suggested for other sites worldwide for both physical and mental  
192 health (Lai et al., 2019).

193 Presently, beach erosion is a global phenomenon jeopardizing coastal lands. Erosion could be  
194 drived by natural (e.g. sea level rising) or human induced (e.g. beach dunes and vegetation removal,  
195 sand mining, groundwater extraction and engineering interventions) causes. In Brazil, there is a  
196 tendency for coastal erosion increasing due to sea level rising (Muehe, 2018), especially in the North  
197 region near Amazon River mouth (Luijendijk et al., 2018). The increment of building areas in the  
198 coast could lead to environmental and social troubles since construction hinder the free dynamic of  
199 the littoral sediments causing erosion that for its turn imposes risks to the constructions and may cause  
200 a reduction in the beach area available for recreation (Pilkey, 1991; Lizarraga-Arcineiga et al., 2001).

201 Erosion and other consequences of the heavy urbanization of the coastal zones could be responsible  
202 for the decline of tourism as was observed Mediterranean coast of Spain (Pons & Rullan (2014) and in  
203 the Algarve in Portugal (Freire et al., 2009). In São Luís, some engineering initiatives was adopted to  
204 protect buildings, walkways and other urban infrastructure from coastal erosion in places where the  
205 dynamic of sand accretion and erosion was in unbalance (Pereira et al., 2011; Silva et al., 2011).  
206 Groynes (Ponta d'Areia, São Marcos and Calhau) and jetties (Ponta d'Área) was made, modifying the  
207 landscape of the beaches. The need of these engineering works are consequence of unplanned growth  
208 of the coastal zone (Airoldi et al., 2005; Bruun, 2013; Koerner et al., 2013) as in the case of the Ponta  
209 d'Área where despite the presence of the jetty, erosion is yet observed. Breakwaters, groynes, jetties,  
210 seawalls, and dikes are hard engineering interventions that may cause more problems than solutions  
211 regarding coastal protection, sometimes increasing rather than stop the erosion process (Van Rijn,  
212 2011). Soft engineering, such as beach nourishment, has been considered a best solution for the  
213 erosion that, among other things, would preserve beach ecological functions and services (Colosio et  
214 al., 2007).

215 According to Silva et al. (2009), the sewage system of São Luís was very ineffective about 10  
216 years ago. In that time, the authors identified 101 sites of gross sewage leaking in the municipality  
217 beaches, 47 in Ponta d'Areia, 36 in São Marcos, 15 in Calhau and 13 in Olho d'Água. The majority of  
218 those leaking were illegally, done by commercial houses that surreptitiously linked their pipes to the  
219 rainfall drain network. Besides illegal practices, the situation was aggravated by the lack of official  
220 sanitation systems. According to a report (PNAD) published by the Brazilian Institute of Geography  
221 and Statistics (IBGE), the State of Maranhão was the second worse Brazilian state regarding sewage  
222 network and sanitation resulting in coastal contamination by faecal organic matter resulting in all the  
223 municipal beaches be classified as improper to bathing (SEMA, 2012), affecting the local tourism  
224 (Silva et al., 2011; Silva et al., 2013). In 2016, after a huge infrastructure program implemented by the  
225 local authorities, the situation seems very distinct from 2009 (SEMA, 2016), with most of the

226 municipal beaches proper for bathing (Table 1). A working group created by the local government,  
227 formed by the Environment State Secretariat (SEMA), Environmental Sanitation Maranhão Company  
228 (CAEMA), Government Secretariat and the Special Environment Police Department inspected  
229 residential and commercial building in order to regulate the discharge of sewages aiming to avoid  
230 irregular discharge in rivers and in the beaches. Our results are the first independent evaluation of this  
231 infrastructure program that corroborate the veracity of the official data, at least regarding the presence  
232 of sites of sewage leakages that was reduced to only one site in Ponta d'Areia in 2017. According to  
233 the Maranhão State authorities, a sewage treatment plant that is under construction will until 2020  
234 treat 40% of the liquid effluents of the entire island.

235 Anthropogenic litter is another world widespread problem concerning conservation of services  
236 and goods beaches provide for humankind. Litter found in the beaches come from different sources,  
237 some being originated locally (e.g. garbage left in the sand by beachgoers and illegal dumping) and  
238 others from nearby (e.g. river discharges and urban drainages) or distant sites, transported by marine  
239 currents and winds (Ivar do Sul & Costa, 2007). The amount and composition of litter found in  
240 beaches have a direct connection with the uses of the littoral zone, the politeness of beachgoers, the  
241 adopted cleaning practices (frequency and the way litter is retrieved) and the availability of local  
242 infrastructure (trash bins, litter landfills, sewage plants) (WOR, 2010).

243 According to São Luís Municipality administration, seafront of the island is daily cleaned  
244 during low tides by mechanical and manual ways, resulting in about 20 Ton of garbage removed daily  
245 from the beaches during the dry season and greater volumes during the wet season. The composition  
246 of the litter in São Luís beaches studied is typical of local sources, left in the beach by beachgoers.  
247 Plastic was the main item, in special wraps and disposable cutlery (cups, knives and spoons),  
248 reflecting the trade of food in the beach kiosks. Although there are trash bins available in the kiosks,  
249 the volume of garbage generated by the beachgoers is probably higher than their capacity and garbage  
250 is thrown away in the sand. Besides the aesthetic problem, beach litter represent a risk to human

251 health, including injuries caused by broken glass and remains of wood and iron, contamination by  
252 pathogens present in personal clean, sanitary stuffs and stranded medical wastes, and exposures to  
253 chemical hazards. The relationship between the degree of urbanization and quantity of anthropogenic  
254 litter, especially that produced by beachgoers was already reported for other beaches. Araújo et al.  
255 (2018) verified this relationship in beaches of the Pernambuco State, Northeast Brazil and suggested  
256 that installation of more trash bins, containers and educational campaigns for beach users could  
257 contribute to minimize or solve the problem. The heavy presence of beach litter associated to the  
258 discharge of untreated sewage (Silva et al., 2011) in the beaches of São Luís were probably the main  
259 causes of the local tourism declining in the past, since beach quality perception is manly based on this  
260 parameters (Rangel-Buitrago et al., 2019). The plans and actions of the local authorities regarding  
261 sewage treatment (Maranhão, 2016) and control of beach illegal discharges beaches was a  
262 commendable initiative that needs continuity to improve the environmental quality of the beaches.  
263 Other initiatives, like banning the use of plastic stuffs use in the kiosks, educational campaigns to  
264 conscious people to dump garbage in appropriated containers are need to achieve a state of sustainable  
265 use of the local beaches

266 Acknowledge

267 Abilio Soares-Gomes thanks CNPq for Research Founding Fellowship.

268       **5. CONCLUSION**

269

270       Despite the reduction of the clandestine points of sewage discharges that affect the environmental  
271       quality of the beaches and pose a great risk to the health of the visitors, the disordered occupation is still  
272       the major problem, as the intensification of urbanization on the Amazon coast of the municipality of  
273       São Luís caused pollution, erosion, devastation of beach vegetation and dune suppression, the result of  
274       the lack of sustainable environmental coastal urban planning. In order to minimize the observed  
275       problems, the following measures should be taken by the responsible authorities: Prohibition of  
276       construction in dune, vegetation, stretch and cliff areas; installation of an effective sewage collection  
277       and treatment system throughout Maranhão Island; installation of a daily solid waste collection system,  
278       which should include an increase in the number of selective waste bins and constant monitoring and  
279       strict punishment for those discharging effluents directly to beaches or rivers that drain into São Marcos  
280       Bay, not to mention the use legal mechanisms of technical support for territorial management of land  
281       use and occupation of the Coastal Zone and its territorial management instruments such as The City  
282       Statute, the Master Plan and the ORLA Project.

## 283 6. References

- 284 Airoldi, L., Abbiatia, M., Beck, M. W., Hawkins, S. J., Jonsson, P. R., Martin, D., Moschella, P. S.,  
 285 Sundelof, A., Thompson, R. C., & Åberg, P. (2005). An ecological perspective on the deployment  
 286 and design of low-crested and other hard coastal defense structures. *Coastal Engineering*, 52,  
 287 1073–1087.
- 288 Araújo, M.C.B., Silva-Cavalcanti, J.S., & Costa, M.F. (2018). Anthropogenic litter on beaches with  
 289 different levels of development and use: A snapshot of a coast in Pernambuco (Brazil). *Frontiers*  
 290 in Marine Science, 5, 233. doi: 10.3389/fmars.2018.00233.
- 291 Bailey, G. (2010). Earliest coastal settlement, marine palaeoeconomies and human dispersal : the  
 292 Africa-Arabia connection. In A. Anderson, J. Barrett, & K. Boyles (Eds.) *The global origins and*  
 293 *development of seafaring*. McDonald Institute Monographs. (pp. 29-40). Cambridge - McDonald  
 294 Institute for Archaeological Research.
- 295 Baptista, D., Tellini, K., Nudi, A.H., Massone, T.P., Scofield, A.L., & Wagener, A.L. (2013). Marine  
 296 sponges as bioindicators of oil and combustion derived PAH in coastal waters. *Marine*  
 297 *Environment Research*, 92, 0234-243.
- 298 Baeyens, W., Mirlean, N., Bundschuh, J., de Winter, N., Baisch, P., Silva Jr., F.M.R., & Gaoa, Y.  
 299 (2019). Arsenic enrichment in sediments and beaches of Brazilian coastal waters: A review.  
 300 *Science of the Total Environment*, 681, 143-154.
- 301 Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., & Silliman, B.R. (2011). The  
 302 value of estuarine and coastal ecosystem. *Ecological Monography*, 81, 169–193.
- 303 Bender, M.G., Machado, G.R., Silva, P.J.A., Floeter, S.R., Monteiro-Netto, C., Luiz, O.J., & Ferreira,  
 304 C.E.L. (2014). Local ecological knowledge and scientific data reveal overexploitation by  
 305 multigear artisanal fisheries in the Southwestern Atlantic. *PLOS One*, 9, e110332.
- 306 Burt, J.A. (2014). The environmental costs of coastal urbanization in the Arabian Gulf. *City*, 18, 760-  
 307 770.
- 308 Burt, J.A., Killilea, M.E., & Ciprut, S. (2019). Coastal urbanization and environmental change:  
 309 Opportunities for collaborative education across a global network university. *Regional Studies in*  
 310 *Marine Science*, 26, 100501.
- 311 Bruun, P. (2013). Design and construction of mounds for breakwaters and coastal protection. New  
 312 York - Elsevier.
- 313 Camargo, M.Z., Sandrini-Neto, L., Carreira, R.S., & Camargo, M.G. (2017). Effects of hydrocarbon  
 314 pollution in the structure of macrobenthic assemblages from two large estuaries in Brazil. *Marine*  
 315 *Pollution Bulletin*, 125, 66-76.
- 316 Colosio, F., Abbiati, M., & Airoldi, L. (2007). Effects of beach nourishment on sediments and benthic  
 317 assemblages. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1197–1206.
- 318 Carboni, M., Carranza, M.L., & Acosta, A.T.R. (2009). Assessing conservation status on coastal  
 319 dunes: A multiscale approach. *Landscape and Urban Planning*, 91, 17-25.
- 320 Daunt, A.B.P., & Silva, T.S.F. (2019). Beyond the park and city dichotomy: Land use and land cover  
 321 change in the northern coast of São Paulo (Brazil). *Landscape and Urban Planning*, 189, 352-361.

- 322 Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., &  
 323 Scapini, F. (2009). Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf  
 324 Science*, 81, 1-12.
- 325 DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. (2009). Tábua das marés. São Luís (Estado do  
 326 Maranhão). Retrieved January 7, 2017 from <http://www.mar.mil.br/~dhn/tabcuas>.
- 327 Dominguez J.M.L. (2009). The coastal zone of Brazil. In S.R. Dillenburg, & Hesp, P.A. (Eds.),  
 328 Geology and geomorphology of holocene coastal barriers of Brazil. Lecture Notes in Earth  
 329 Sciences, 107. Springer (pp.17-51). Berlin - Heidelberg.
- 330 Ferreira, C.E.L., Junqueira, A.O.R., Villac, M.C., & Lopes, R.M. (2009). Marine bioinvasions in the  
 331 Brazilian coast: Brief report on history of events, vectors, ecology, impacts and management of  
 332 non-indigenous species. In G. Rilov, & Crooks, J.A. (Eds.), Biological Invasions in Marine  
 333 Ecosystems. Ecological Studies 204 (pp. 459-477). Berlin - Springer-Verlag.
- 334 Freire, S., Santos, T., & Tenedório, J. A. (2009). Recent urbanization and land use/land cover change  
 335 in Portugal: the influence of coastline and coastal center urban. *Journal of Coastal Research*, SI  
 336 56, 1499-1503.
- 337 Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. (2008).  
 338 Global changes and the ecology of cities. *Science*, 319: 756-760.
- 339 IBGE, (2017). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Retrieved June 5, 2017 from  
 340 <http://www.ibge.gov.br/cidades>.
- 341 Ivar do Sul, J.A., & Costa, M.F. (2007). Marine debris review for Latin America and the Wider  
 342 Caribbean Region: From 1970s until now and where do we go from here? *Marine Pollution  
 343 Bulletin*, 54, 1087-1104.
- 344 Krumb-Oliveira, L., & Souto, R.D. (2015). Integrated coastal management in Brazil: analysis of the  
 345 National Coastal Management Plan and selected tools based on international standards. *Journal of  
 346 Integrated Coastal Zone Management*, 15, 311-323
- 347 Lizarraga-Arciniiega, R., Appeninialbretchsen, C. M., & Fischer, D. W. (2001). Planning for beach  
 348 erosion: A Case study, playas de Rosarito, B. C. Mexico. *Journal of Coastal Research*, 17, 636-  
 349 644.
- 350 Koerner, K. F.; Oliveira, U. R.; & Gonçalves, G. (2013). Efeito de estruturas de contenção à erosão  
 351 costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista da  
 352 Gestão Costeira Integrada*, 13, 457-471.
- 353 Lauria, D.C., & Rochedo, E.R.R. (2005). The legacy of monazite processing in Brazil. *Radiation  
 354 Protection Dosimetry*, 114, 546-550.
- 355 Lai, S., Leone, F., & Zoppi, C. (2017). Land cover changes and environmental protection: A study  
 356 based on transition matrices concerning Sardinia (Italy). *Land Use Policy*, 67, 126-150.
- 357 Lai, H., Flies, E.J., Weinstein, P., Woodward, A. (2019). The impact of green space and biodiversity  
 358 on health. *Frontiers in Ecology and the Environment*, doi:10.1002/fee.2077.
- 359 Li, Y., Zhang, X., Zhao, X., Ma, S., Cao, H., & Cao, J. (2016). Assessing spatial vulnerability from  
 360 rapid urbanization to inform coastal urban regional planning. *Ocean and Coastal Management*,  
 361 123, 53-65.

- 362 Luijendijk, A., Hagenaars G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S. (2018). The  
363 state of the world's beaches. *Scientific Reports*, 8, 6641 doi:10.1038/s41598-018-24630-6.
- 364 Malthus, T.J., & Mumby, P.J. (2003). Remote sensing of the coastal zone: an overview and priorities  
365 for future research. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 2805–2815.
- 366 Maranhão, 2016. Governo do Estado do Maranhão. Retrieved in December 2017 from  
367 [www.ma.gov.br/governador-entrega-ete-vinhais-responsavel-pelo-tratamento-de-40-dos-esgotos-da-capital/](http://www.ma.gov.br/governador-entrega-ete-vinhais-responsavel-pelo-tratamento-de-40-dos-esgotos-da-capital/).
- 369 Marean, C.W., Bar-Matthews, M., & Bematchez, J. et al. (2007). Early human use of marine  
370 resources and pigment in South Africa during the Middle Pleistocene. *Nature*, 449, 905-909.
- 371 Masullo, Y.A.G. (2016). Evolução do processo de urbanização e alterações ambientais na Praia de  
372 São Marcos, São Luís, MA. *Espaço & Geografia*, 19, 561-595.
- 373 McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate  
374 change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19,  
375 7–37.
- 376 Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*.  
377 Washington, DC - Island Press.
- 378 Moreira, M.A. (2011). Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Ed.  
379 Viçosa - Universidade Federal de Viçosa.
- 380 Muehe, D. (Org.). (2018). Panorama da erosão costeira no Brasil. Brasília, DF - Ministério do Meio  
381 Ambiente.
- 382 Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S.,  
383 & Woodroffe, C.D. (2007). Coastal systems and low-lying areas. In M.L. Parry, Canziani, O.F.,  
384 Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., & Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts,  
385 Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment  
386 Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (pp. 315–356). Cambridge -  
387 Cambridge University Press.
- 388 Nicolodi, J.L., & Pettermann, R.M. (2011). Vulnerability of the Brazilian coastal zone in its  
389 environmental, social, and technological aspects. *Journal of Coastal Research*, 64 (SI), 1372-  
390 1379.
- 391 Nunes, Y.B.S., Silva, L.R., Mendes, E.S., Araújo, N.B., & Bezerra, M. (2018). Composição e  
392 abundância de resíduos sólidos em praias urbanas da região metropolitana da Ilha de São Luís  
393 (MA), Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 11, 1-12.
- 394 Oliveira, A.J.F.C., França, P.T.R., & Pinto, A.B. (2010). Antimicrobial resistance of heterotrophic  
395 marine bacteria isolated from seawater and sands of recreational beaches with different organic  
396 pollution levels in southeastern Brazil: evidences of resistance dissemination. *Environment and  
397 Monitoring Assessment*, 169, 375-384.
- 398 Pereira, L.C.C., Vila-Concejo, A., Trindade, W.N., & Short, A.D. (2011). Influence of high energy  
399 conditions on beach changes in tide-dominated (Amazon, Brazil) and wave-dominated (NSW,  
400 Australia) coastal environments. *Journal of Coastal Research*, (SI 64), 115-119.

- 401 Pereira, L.C.C., Jimenez, J.A., Medeiros, C., & Costa, R.M. (2007). Use and occupation of Olinda  
 402 Littoral (NE, Brazil): Guidelines for an integrated coastal management. *Environmental*  
 403 *Management*, 40, 210–218.
- 404 Pereira, L.C.C., Trindade, W.N., Silva, I.R., Vila-Conceio, A., & Short, A.D. (2016). Maranhão beach  
 405 systems, including the human impact on São Luís beaches. In A.D. Short, & Klein, A. H. (Eds.),  
 406 *Brazilian beach systems* (pp. 125-152). Switzerland - Springer.
- 407 Pilkey, O. H. (1991). Coastal erosion. *Episodes. International Geoscience News Magazine*, 14, 45-51.
- 408 Poletti, M., & Lins-de-Barros, F. (2012). Os desafios urbanos na zona costeira brasileira frente às  
 409 mudanças climáticas. *Coastas*, 1, 165-180.
- 410 Pons, A., & Rullan, O. (2014). Artificialization and islandness on the Spanish tourist coast.  
 411 *Miscellanea Geographica*, 18, 5-16.
- 412 Post, J.C., & Lundin, C.G. (1996). Guidelines for integrated coastal zone management.  
 413 (Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series No. 9 ESD). The  
 414 World Bank.
- 415 Potter, C., (2013). Ten years of landcover change on the California coast detected using Landsat  
 416 satellite image analysis: part 2. San Mateo and Santa Cruz counties. *Journal of Coastal*  
 417 *Conservation*, 17, 709–718.
- 418 Rangel-Buitrago, N., Mendoza, A.V., Gracia, A., Mantilla-Barbosa, E., Arana, V.A., Trilleras, J., &  
 419 Arroyo-Olarte, H. (2019). Litter impacts on cleanliness and environmental status of Atlantico  
 420 department beaches, Colombian Caribbean coast. *Ocean and Coastal Management*,  
 421 doi/10.1016/j.ocecoaman.2019.104835.
- 422 Rêgo, J.C.L., Soares-Gomes, A., & Silva, F.S. (2018). Loss of vegetation cover in a tropical island of  
 423 the Amazon coastal zone (Maranhão Island, Brazil). *Land Use Policy*, 71, 593-601.
- 424 Rodrigues, S.K., Abessa, D.M. S., Rodrigues, A.P.C., Soares-Gomes, A., Freitas, C.B., Santelli, R.E.,  
 425 Freire, A.S., & Machado, W. (2017). Sediment quality in a metal-contaminated tropical bay  
 426 assessed with a multiple lines of evidence approach. *Environmental Pollution*, 228, 265-276.
- 427 Sale, P.F., Agardy, T., Ainsworth, H., et al., (2014). Transforming management of tropical coastal  
 428 seas to cope with challenges of the 21st century. *Marine Pollution Bulletin*, 85, 8–23.
- 429 Santos, S., Carlos, H., & Dutra, S.Q. (2012). Análise de falésias no litoral ocidental da ilha do  
 430 maranhão. *Revista Geonorte*, 3 (SI), 388 – 398.
- 431 Santos, C.S.G., Lino, J.B., Veras, P.C., Amado-Filho, G.M., Francini-Filho, R.B., Mottab, F.S.,  
 432 Moura, R.L., & Pereira-Filho, G.H. (2016). Environmental licensing on rhodolith beds: insights  
 433 from a worm. *Nature and Conservation*, 14, 137-141.
- 434 SEMA (2012). Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão. Retrieved  
 435 December 5, 2017 from <http://www2.ma.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/Balneabilidade-das-praias.pdf>.
- 437 SEMA (2016). Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão. Retrieved  
 438 December 3, 2017 from <http://www.sema.ma.gov.br/arquivos/1472676204652.pdf>.

- 439 Shalaby, A., & Tateishi, R. (2007). Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover  
 440 and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Applied Geography*, 27, 28-41.
- 441 Silva, I.R., Pereira, L.C.C., Guimarães, D.O., Trindade, W.N., Asp, N., & Costa, R.M. (2009).  
 442 Environmental status of urban beaches in São Luís (Amazon coast). *Journal of Coastal Research*,  
 443 56(SI), 1301-1305.
- 444 Silva, I.R., Pereira, L.C.C., Sousa, R.C., Oliveira, S.M.O., Guimarães, D., & Costa, R.M. (2011).  
 445 Amazon beaches (São Luís, Brazil): recreational use, environmental indicators, and the  
 446 perception of beachgoers. *Journal of Coastal Research*, 64 (SI), 1287-1291.
- 447 Silva, I.R., Pereira, L.C.C., Trindade, W.N., Magalhães, M., & Costa, R.M. (2013). Natural and  
 448 anthropogenic processes on the recreational activities in urban Amazon beaches. *Ocean &*  
 449 *Coastal Management*, 76, 75-84.
- 450 Silva, J.M.C., Prasad, S., & Diniz-Filho, J.A.F. (2017). The impact of deforestation in urbanization,  
 451 public investments, and agriculture on human welfare in the Brazilian Amazonia. *Land Use*  
 452 *Policy*, 65, 135–142.
- 453 Simpson, M.C.; Clarke, C.S.L.M.; Clarke, J.D.; Scott, D.; & Clarke, A.J. (2012). Coastal setbacks in  
 454 Latin America and the Caribbean. A study of emerging issues and trends that inform guidelines  
 455 for coastal planning and development (Technical Note, 476). Inter-American Development Bank.
- 456 Sorensen, J. (1993). The international proliferation of integrated coastal zone management efforts.  
 457 *Ocean & Coastal Management*, 21, 45-80.
- 458 Strasser, T.F., Panagopoulou, E., Runnels, C.N., Murray, P.M., Thompson, N., Karkanas, P., McCoy,  
 459 F.W., & Wegmann, K.W. (2010). Stone Age seafaring in the Mediterranean: Evidence from  
 460 Plakias region for lower palaeolithic and mesolithic habitation of Crete. *Hesperia*, 79, 145-190.
- 461 Taylor, E.B., Gibeaut, J.C., Yoskowitz, D.W., & Starek, M.J. (2015). Assessment and monetary  
 462 valuation of the storm protection function of beaches and foredunes on the Texas coast. *Journal of*  
 463 *Coastal Research*, 31, 1205–1216.
- 464 Teixeira, T.P., Neves, L.M., & Araújo, F.G. (2012). Thermal impact of a nuclear power plant in a  
 465 coastal area in Southeastern Brazil: effects of heating and physical structure on benthic cover and  
 466 fish communities. *Hydrobiologia*, 684, 161-175.
- 467 The World Bank (2017). Retrieved June 3, 2017 from <https://data.worldbank.org/indicator/sp.urb.totl.in.zs>.
- 468
- 469 Thompson, L.M.C., & Schlacher, T. (2008). Physical damage to coastal dunes and ecological impacts  
 470 caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: A case study from  
 471 Fraser Island, Australia. *Journal of Coastal Conservation*, 12, 67-82.
- 472 Trindade, W.N., Pereira L.C.C., Guimarães D.O., Silva, I. R., & Costa, R.M. (2011). The effects of  
 473 sewage discharge on the water quality of the beaches of São Luís (Maranhão, Brazil). *Journal of*  
 474 *Coastal Research*, 64, 1425–1429.
- 475 UNEP (United Nations Environment Programme). (1992). *The world environment 1972–1992: Two*  
 476 *decades of challenge*. New York - Chapman & Hall.
- 477 Van Rijn, L. C. (2011). Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54, 857-956.

478 WOR (World Ocean Review) 2017. Coasts- A vital habitat under pressure. Maribus gGmbH,  
479 Hamburg.

480 WOR (World Ocean Review). 2010. Living with the oceans. A report on the state of the world's  
481 oceans. Maribus gGmbH, Hamburg.

482



Figure 1: Location of the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

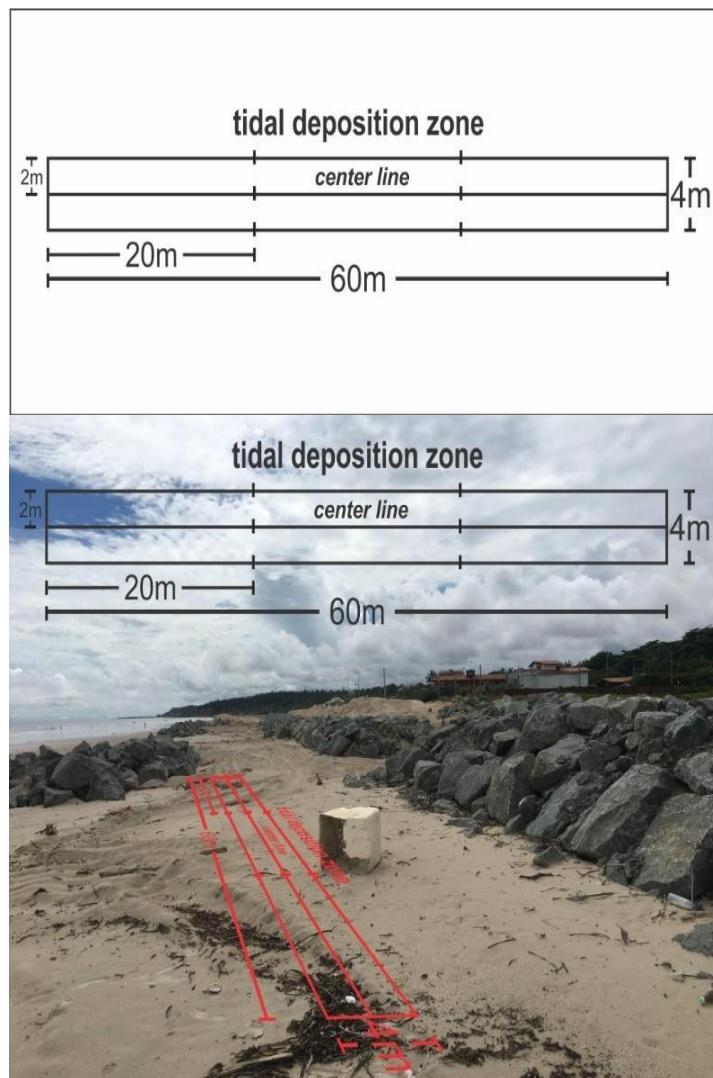


Figure 2. Sampling design used to quantify debris in Olho d'Água and Ponta d'Areia beaches located in the northern portion of the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

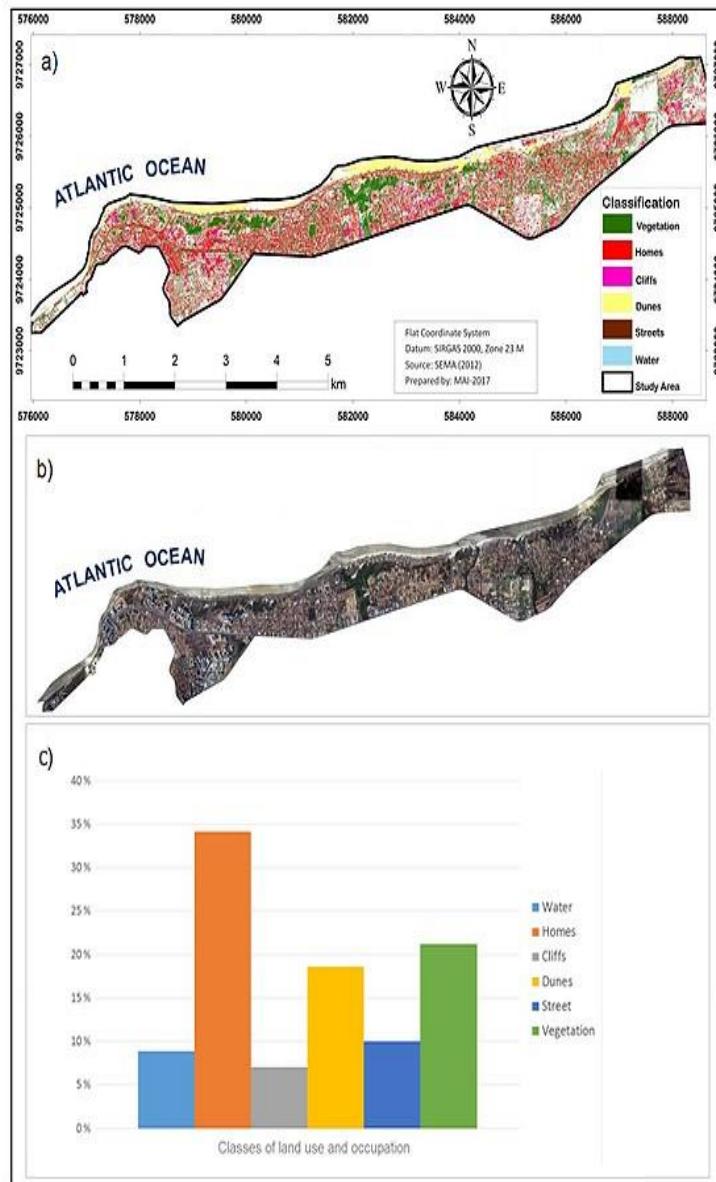


Figure 3: a) Map of the uses and occupation of the soil of the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil; b) Coastal strand of the same area; c) percentage of the different uses and land occupation.

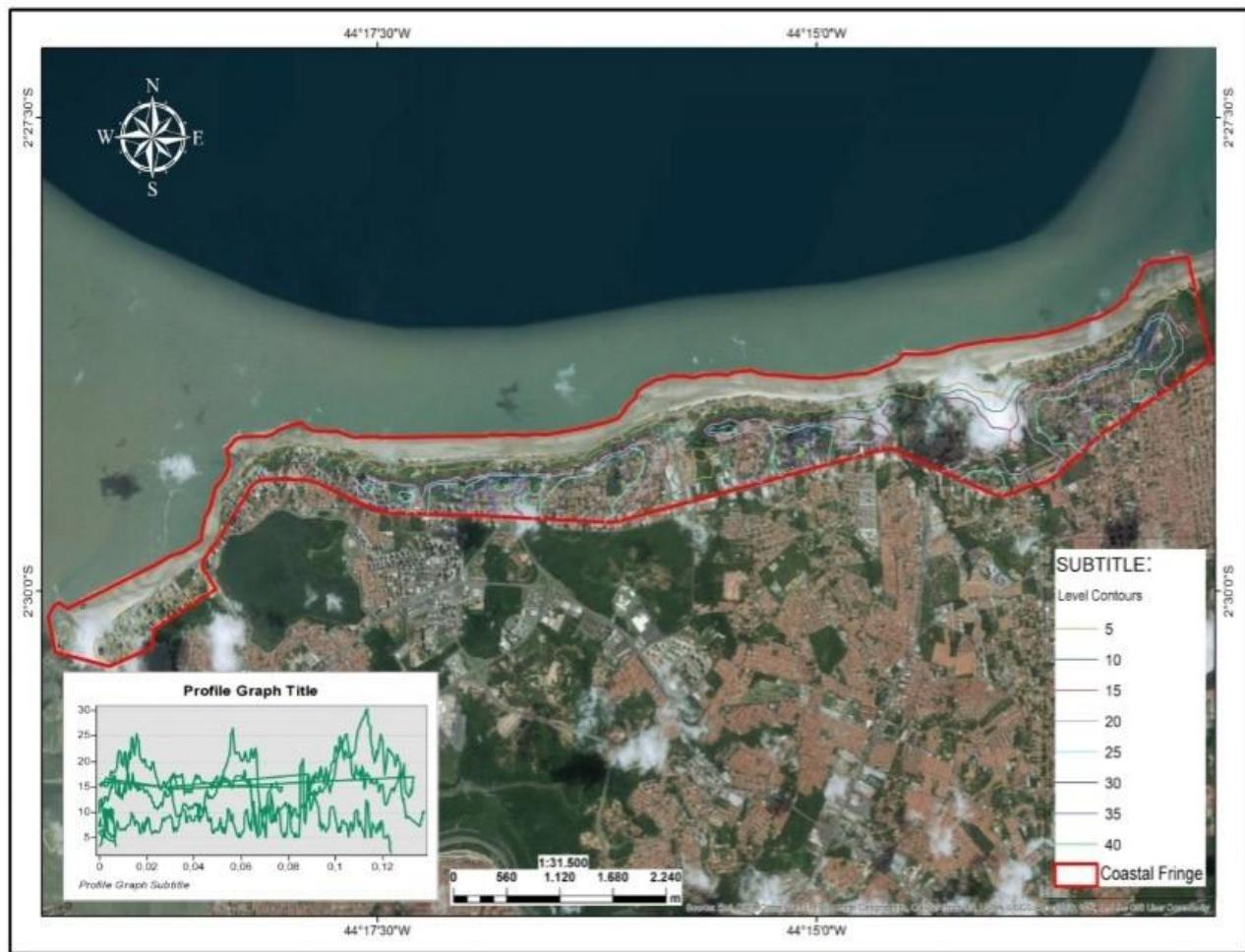


Figure 4. Topographic map of the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

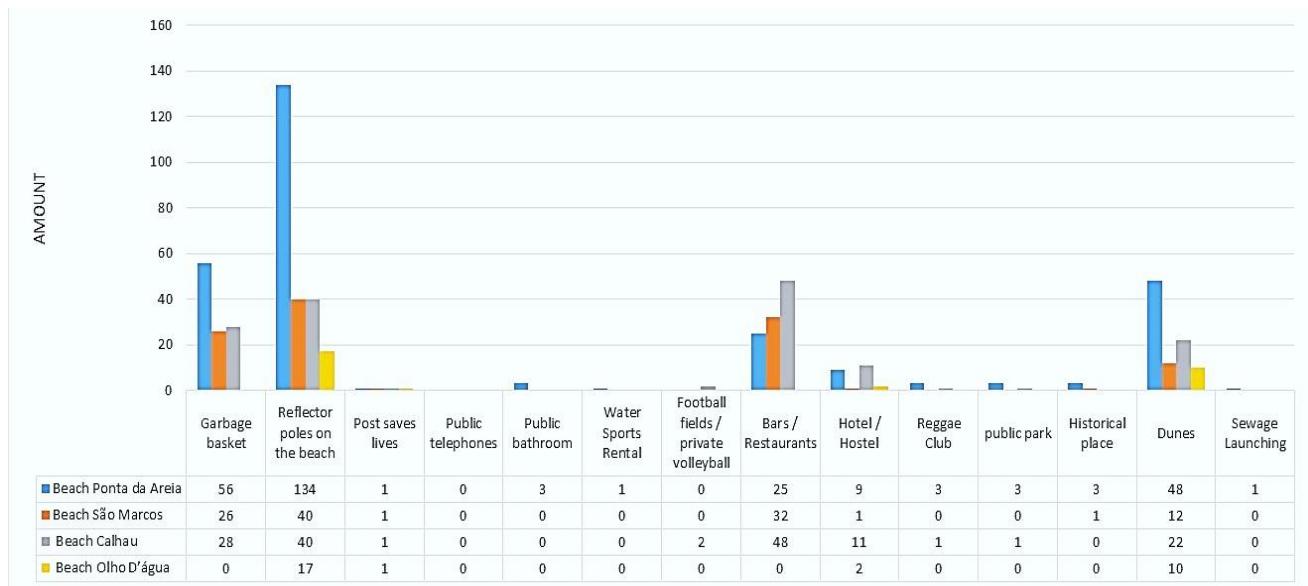


Figure 5: Public and private infrastructure available at study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.



Figure 6: Map showing sites of sewage pipes in 2012 in the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.



Figure 7: Map showing sites of sewage pipes in 2017 in the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

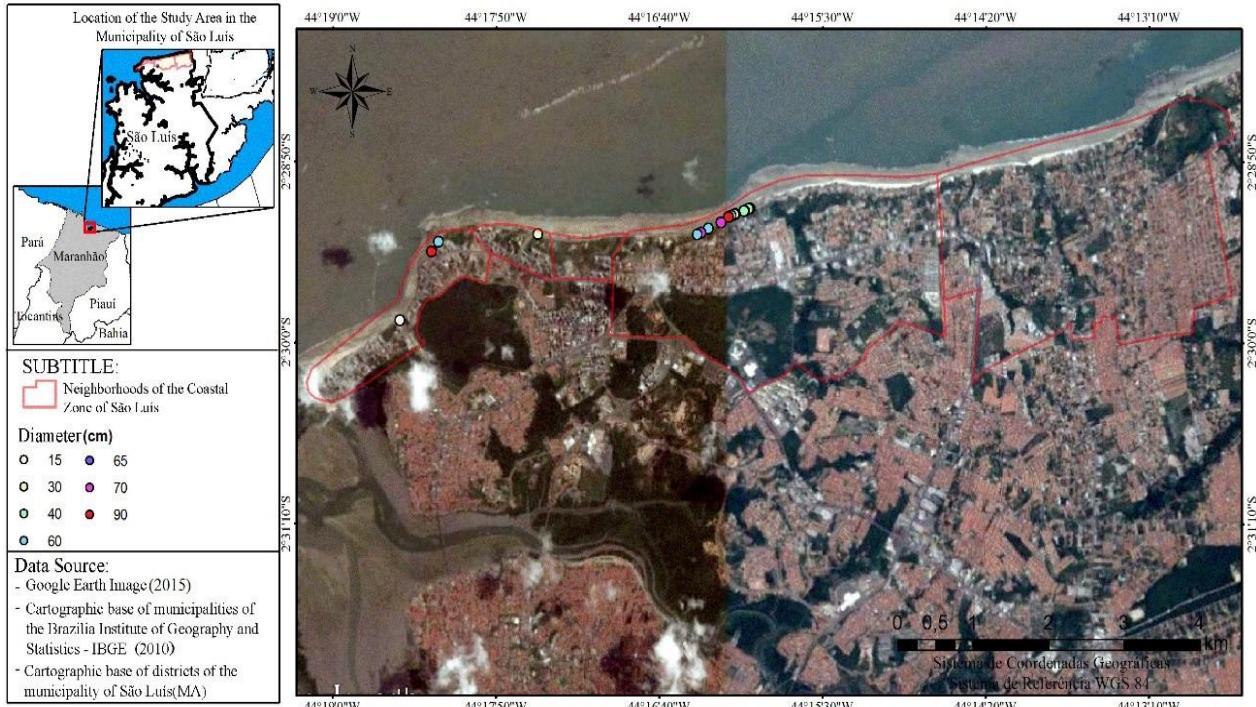


Figure 8: Map showing sites of sewage pipes diameter in 2017 in the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

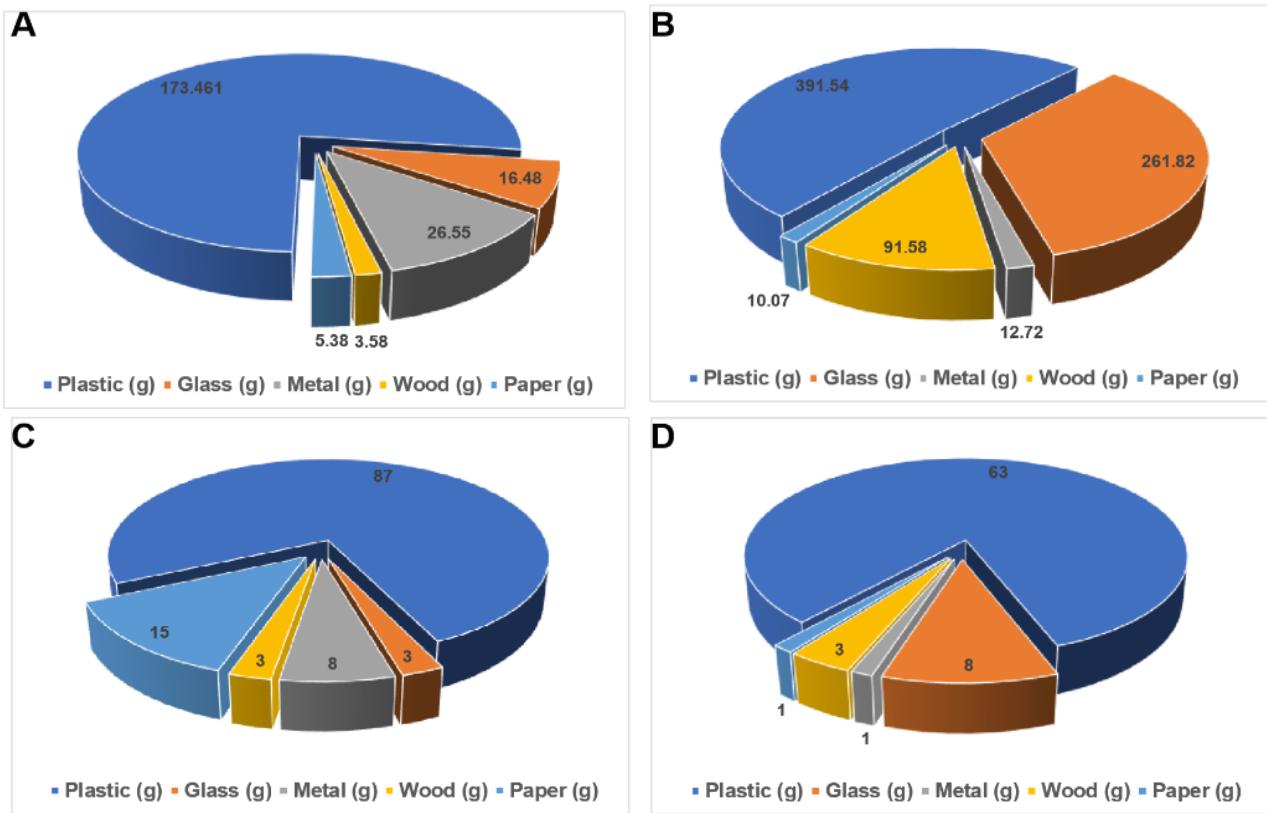


Figure 9. A. Total weight (g) of the debris itens found in Olho D'água beach; B. Total weight (g) of the debris itens found in Ponta D'areia beach; C. Units of itens debris itens found in Olho D'água beach; D. Units of the itens debris itens found in Ponta d'areia beach.

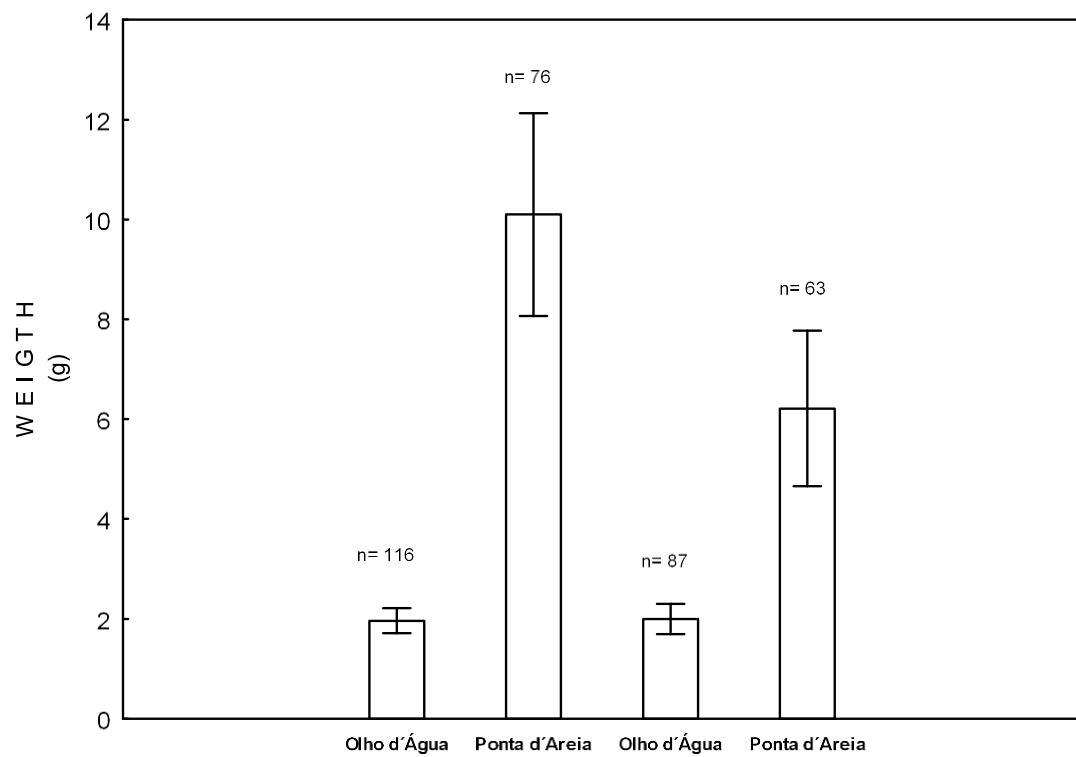


Figure 10. Weight (mean  $\pm$ standard error) of total and plastic debris in Olho d'Água and Ponta d'Areia beaches located in Maranhão Island, Northern Brazilian coastline.

Sewage Outflow Sites	Location	2012	2016
P1	Ponta d'Areia	Improper	proper
P1.1	Ponta d'Areia	Improper	proper
P1.2	Ponta d'Areia	Improper	proper
P2	Ponta d'Areia	Improper	proper
P2.1	Ponta d'Areia	Improper	Improper
P2.2	Ponta d'Areia	Improper	proper
P2.3	São Marcos	Improper	proper
P2.4	São Marcos	Improper	proper
P3	São Marcos	Improper	proper
P3.1	São Marcos	Improper	proper
P3.2	Calhau	Improper	proper
P4	Calhau	Improper	proper
P4.1	Calhau	Improper	proper
P4.2	Calhau	Improper	proper
P5	Olho d'Água	Improper	Improper
P6	Olho d'Água	Improper	proper

Table 1. Balneability of the in the study beaches in 2012 and 2016 on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Source: <http://www2.ma.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/BALNEABILIDADE-DAS-PRAIAS.pdf>

## Figure Captions

Figure 1: Location of the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Figure 2: Sampling design used to quantify debris in Olho d'Água and Ponta d'Areia beaches located in the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Figure 3: a) Map of the uses and occupation of the soil of the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil; b) Coastal strand of the same area; c) percentage of the differente uses and land occupation.

Figure 4: Topographic map of the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Figure 5: Public and private infrastructure available at study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Figure 6: Map showing sites of sewage pipes in 2012 in the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Figure 7: Map showing sites of sewage pipes in 2017 in the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Figure 8: Map showing sites of sewage pipes diameter in 2017 in the study beaches on the northern portion of the in the Maranhão Island, São Luís city, Maranhão State, Brazil.

Figure 9: A. Total weight (g) of the debris itens found in Olho D'água beach; B. Total weight (g) of the debris itens found in Ponta D'areia beach; C. Units of itens debris itens found in Olho D'água beach; D. Units of the itens debris itens found in Ponta d'areia beach.

Figure 10. Weight (mean  $\pm$ standard error) of total and plastic debris in Olho d'Água and Ponta d'Areia beaches located in Maranhão Island, Northern Brazilian coastline.

### **CAPITULO 3**

**IMPACTOS ANTRÓPICOS E DENSIDADE DE TOCAS DO OCYPODE QUADRATA  
EM DUAS PRAIAS AMAZÔNICAS (ILHA DO MARANHÃO, BRASIL)**

## RESUMO

Levando em consideração a problemática atual em relação a destinação inadequada de Resíduos Sólidos Antropogênicos (RSA), que se tornam cada dia mais uma ameaça devido principalmente ao tempo de persistência de seus componentes no meio, em especial ao ecossistema praiano, este trabalho tem o objetivo de compreender a dinâmica da distribuição desses elementos na orla de uma ilha tropical do nordeste brasileiro e investigar os possíveis riscos ligados a elemento comum da fauna das praias, o caranguejo *Ocypode quadrata*. Para tanto, amostras de resíduos foram coletadas em duas seções divididas em menor e maior fluxo antrópico em duas praias arenosas da ilha. Os resultados mostraram uma predominância do plástico em relação aos outros materiais coletados nos períodos de chuva e de estiagem. Os processos de urbanização do litoral da ilha do maranhão também mostraram uma forte influência sobre a frequência das tocas de *O. quadrata* e sobre a dinâmica dos resíduos sólidos de forma geral, além de proporcionarem mudanças significativas no habitat natural das espécies estudadas afetando a sua abundância bem como as funções ecológicas que as mesmas desempenham.

**Palavras-chave:** Caranguejo-fantasma, resíduos sólidos, praia, urbanização.

## 1. INTRODUÇÃO

A concentração de lixo relacionado à urbanização costeira é um problema progressivo em todo o mundo que está provocando impacto na fauna marinha (Derraik, 2002). Atualmente, o impacto do lixo na biodiversidade, na saúde humana e até na economia do turismo é um grande desafio global (Rochman et al., 2015). O lixo não só diminui a qualidade de vida da população, mas também põe em perigo a vida dos organismos marinhos, como os mamíferos e aves marinhas (More, 2002; Silva, 2009). Atualmente, o lixo deixou de ser apenas um problema sanitário em zonas urbanas e tornou-se um dos principais grupos de poluentes em ecossistemas marinhos. O aumento da produção de materiais sintéticos persistentes mudou significativamente o tipo e a quantidade de lixo gerados (Araújo & Costa, 2003). O atual estilo de vida da humanidade é o principal responsável pela crescente degradação dos oceanos. Uma das causas que contribui para o aumento do volume de resíduos encontrados nas regiões de litoral no Brasil é a alta densidade populacional em regiões costeiras (Valle, Braz & Santos, 2013). A deposição e o acúmulo do lixo nas praias urbanas oferecem não só riscos para a população que frequenta as praias como área de lazer, mas também aos animais marinhos, constituindo um grande risco ambiental (Araújo & Costa, 2016). Além de impactar as espécies marinhas, os resíduos descartados nas praias também impõem riscos à saúde dos banhistas, que podem se ferir com determinados objetos. As praias arenosas são locais habituais de encalhamento de lixo, mesmo em áreas não urbanizadas, devido ao transporte passivo pelo vento, correntes e pelas marés (Corcoran et al., 2009). O lixo nas praias causa sérios impactos ambientais que podem influenciar diretamente as comunidades biológicas que necessitam deste ambiente para a sua sobrevivência, ou afetar as atividades humanas na zona costeira (Corbin e Singh 1993, Derraik 2002). O banhista, o comerciante, o setor público e privado, todos esses agentes usufruem do ecossistema praiano. Em decorrência desses diversos usos a que o ambiente de praia está sujeito, a pressão sobre o mesmo aumenta, contribuindo na geração de impactos, entre eles a produção de resíduos sólidos (Silva et al, 2008). Os próprios frequentadores de praia contribuem para a poluição, às vezes em grande quantidade, descartando neste ambiente plásticos, latas, vidros, restos de comida, papel e bitucas de cigarro (Oigman-Puszczol e Creed, 2007; Abu-Hilal E All-Najjar, 2004). As atividades marítimas também descartam resíduos em alto mar que acabam chegando às praias. (Derraik, 2002; Moore et al, 2001).

Estudos nas regiões costeiras ao redor do mundo, como América do Norte, Caribe, Mediterrâneo e, Brasil têm focado na determinação quantitativa e qualitativa do lixo nas praias, assim como na avaliação dos impactos negativos do lixo à vida marinha, aos habitantes costeiros e diagnóstico do lixo na praia (Silva-Iñiguez e Fischer, 2003; Araújo e Costa, 2007)

Atualmente muito se fala em espécies indicadoras, sejam em estudos de impacto ambiental e em outros mais amplos que pretendem entender como está o ambiente de forma mais simplificada. Conceitos, definições e aplicações de espécies indicadoras são diversos, incluindo: espécies “chave” (interações fortes com outras espécies), espécies de “dispersão limitada” (fidelidade comprovada de um local específico), “recursos limitados” e espécies “limitadas pelo processo” (sensíveis a mudanças em um recurso ou processo ecológico específico), e espécies “emblemáticas” (Noss, 1990, Lambeck, 1997). Os invertebrados são indicadores ecológicos eficazes de estressores humanos em uma ampla gama de ambientes (Chessman, 1995; Fulton et al., 2005; Resh, 2008; Van Dam e Van Dam, 2008). Eles geralmente respondem a perturbações em escalas espaciais mais finas do que os vertebrados maiores (Carignan e Villard, 2002), e suas distribuições e tamanhos populacionais são frequentemente correlacionados com condições ambientais que estão, potencialmente, sujeitas a alterações humanas (Schoener, 1986).

Os caranguejos-fantasma do gênero *Ocypode* são invertebrados semi-terrestres comuns em praias de clima temperado quente a tropical. Esses caranguejos escavam tocas extensas na porção superior da costa e nas dunas, sendo ativos na superfície principalmente à noite (Barras, 1963). Populações de caranguejos-fantasma respondem previsivelmente a impactos físicos diretos (em especial atropelamentos por veículos off-road) e a mudanças de habitat, na forma de abundância reduzida e diminuição do tamanho corpóreo da população (Barros, 2001; Moss e McPhee, 2006; Schlacher et al., 2007a; Lucrezi et al., 2008). Além disso, como os caranguejos-fantasma são os principais predadores de invertebrados em praias arenosas e são alvo de uma variedade de consumidores de alta ordem (Christoffers, 1986), de modo que mudanças no número de caranguejos-fantasma podem repercutir sobre a teia alimentar em praias arenosas.

A compreensão do processo de contaminação das praias por resíduos sólidos antropogênicos (RSA) é de fundamental importância para que se possa entender os possíveis impactos ao meio ambiente e dessa forma proporcionar auxílio aos órgãos competentes para que os mesmos possam encontrar soluções. Este tema tem recebido crescente atenção nos

últimos anos devido as inúmeras problemáticas ligadas a ele, bem como a morte de organismos, diminuição na produtividade dos oceanos e transferência de poluentes entre os níveis tróficos, sendo que este último pode afetar diretamente o ser humano como predador de topo de cadeia alimentar. Além de todos esses impactos no sistema ecológico, os RSA afetam o sistema socioeconômico pois a contaminação dos oceanos por esses materiais desvaloriza as áreas turísticas e favorece a degradação de habitats que servem de suporte para recursos pesqueiros causando a morte de vários organismos de valor comercial. Apesar do aumento da quantidade de estudos nos últimos anos a respeito desse assunto, em algumas localidades como é o caso do estado do Maranhão pouco se sabe a respeito da quantidade, distribuição e impactos causados ao meio ambiente.

Este estudo tem como objetivos investigar, caracterizar e quantificar a distribuição dos RSA em praias arenosas da orla da Ilha do Maranhão, identificar e quantificar as tocas do caranguejos-fantasma *Ocypode quadrata* e associar os padrões de distribuição dos RSA com a sua distribuição espacial.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A ilha de São Luís, está localizada no estado do Maranhão e faz parte do setor amazônico da costa norte do Brasil. Este setor representa cerca de 35% do litoral brasileiro e é caracterizado por baixo relevo, ampla planície costeira e ampla plataforma continental vizinha (Szlagsztein, 2012). O litoral do Estado do Maranhão se estende ao longo de uma zona de transição entre a costa amazonense do Pará dominada pelo regime de marés e a costa dominada pelo vento do estado do Ceará. O litoral pode ser dividido em setores ocidentais, centrais e orientais. O setor central corresponde ao Golfo do Maranhão, onde se localiza a Ilha do Maranhão (Pereira et al., 2016).

Ao todo são 144 praias distribuídas nos 490 Km da costa do Golfo do Maranhão, das quais 60 estão na Ilha do Maranhão. As praias são dissipativas ou ultradissipativas (Short, 2006), dominadas por maré e compostas principalmente por areias finas de quartzo. O regime de marés é semidiurno, com uma maré alta extrema de aproximadamente 7,0 m e uma maré alta de cerca de 2,5 m. O clima local apresenta duas estações bem definidas, como uma estação chuvosa de janeiro a junho e uma estação seca de julho a dezembro. A precipitação anual é da

ordem de 2200 mm e a temperatura média do ar é de 27 °C, sem diferenças marcantes ao longo do ano (Pereira et al., 2016; INMET, 2016).

Segundo Freire e Monteiro (1993), a Ilha do Maranhão localiza-se em uma zona de transição entre a vegetação amazônica e nordestina. A vegetação herbácea, arbustiva e arbórea que ocorre próximo à zona litoral e ocupa os solos arenosos litorâneos, como foreshore, dunas, barreiras arenosas e margens lagunares, é denominada localmente como “restinga” e é considerada um componente do ecossistema da Mata Atlântica (Rocha et al., 2007; Silva et al., 2010). Os manguezais são outra vegetação típica encontradas principalmente nos sedimentos lamosos intertidais locais, que cobrem extensas áreas da porção sul da ilha e pequenas manchas da porção norte (Freire e Monteiro, 1993). Segundo Souza-Filho (2005), os manguezais cobrem uma área de 1623 Km<sup>2</sup> do litoral do Golfo do Maranhão.

A ilha do maranhão abriga quatro municípios: São Luís, São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar. Segundo dados do IBGE (2017) a população da ilha chega a superar a marca de 1 milhão de habitantes dos quais a maioria vive em São Luís que por sua vez recebe o título de capital do estado. A pesca, o turismo e o comércio relacionado a essas atividades exercem fundamental papel socioeconômico (Pereira et al., 2016). A área de estudo deste trabalho está localizada em uma porção urbanizada de aproximadamente 12,5 km ao norte da ilha (fig. 1). Compreende as praias Ponta d'areia, São Marcos, Calhau, Caolho (trecho de transição entre as praias do Calhau e Olho d'água) e Olho d'água.



Figura 12 - Mapa com localização das praias Olho D'água e Ponta D'areia na porção norte da ilha do Maranhão, São Luís.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Amostragem de *Ocypode quadrata* e dos RSA**

Ao longo da orla foram escolhidas 2 seções por praia uma com maior fluxo antrópico e a outra com menor fluxo antropico. As amostragens foram realizadas em duas estações do ano a fim de identificar padrões de distribuição espacial relacionados aos períodos de maior e menor grau de uso das praias. Durante cada saída, foram realizadas 6 amostragens em cada praia, 2 seções de 60m x 4m (comprimento x largura) divididas em 3 setores, cada um com 20m x 4m paralelos ao litoral. Nestas seções foi coletado todos os itens macroscópicos presentes a até 4 m de distância de ambos os lados da linha central demarcada. As tocas do caranguejo *O. quadrata* foram contadas ao longo de todo estirâncio e cordões de dunas das praias Olho D'água e Ponta D'areia e tiveram o seu diâmetro mensurado com o auxílio de uma trena.

#### **3.2. Processamento das Amostras**

Os itens macroscópicos foram identificados de acordo com o tipo e cor do material (plástico, espuma, metal, cigarro, madeira, tecido, papel, outros resíduos sólidos antropogênicos), medidos para se estimar o volume (comprimento, largura e altura) e pesados (g) para obter a massa de cada categoria.

Com o apoio de GPS Garmim Eterx 10, demarcou-se os pontos em que haviam tocas dispostas ao longo da faixa de dunas do local estudado. Os dados foram armazenados em ambiente computacional Qgis 2.18 para a geração de um mapa de densidade kernel, com o objetivo de mapear a ocorrência das tocas dos caranguejos. O método Kernel é muito útil por viabilizar uma visão holística do padrão de distribuição de primeira ordem dos eventos (CÂMARA; et al., 2002). O procedimento foi realizado ambiente Qgis, através da função mapa de calor.

#### **3.3. Analise de Dados**

Através de ANOVA *one way* e, uma análise multivariada de variâncias não paramétricas por permutações, foram identificadas as interações entre as áreas amostradas, categorias, quantidades de materiais, e as estações do ano (agrupamento de meses). Diferenças

relevantes foram indicadas por  $p < 0,05$ . Para analisar a correlação entre os fatores ambientais e a comunidade da macrofauna bêntica foi utilizada a Análise de Componentes Principais (ACP), e realizadas com o software PAST.

#### 4. RESULTADOS

O plástico foi o elemento mais abundante e frequente nas amostras em relação aos outros materiais encontrados nas praias. Na praia do Olho D'água no período de estiagem (fig. 2) foram registrados 118 itens no total sendo que 76 itens eram de material plástico.

Na praia da Ponta D'areia foram registrados 87 itens no total com 63 desses itens classificados como material plástico. No período chuvoso foram registrados 108 itens totais de resíduos sólidos com os plásticos sendo representados por 99 destes itens na praia do Olho D'água, na praia Ponta D'areia apenas 78 sendo 54 de material plástico (fig. 3).

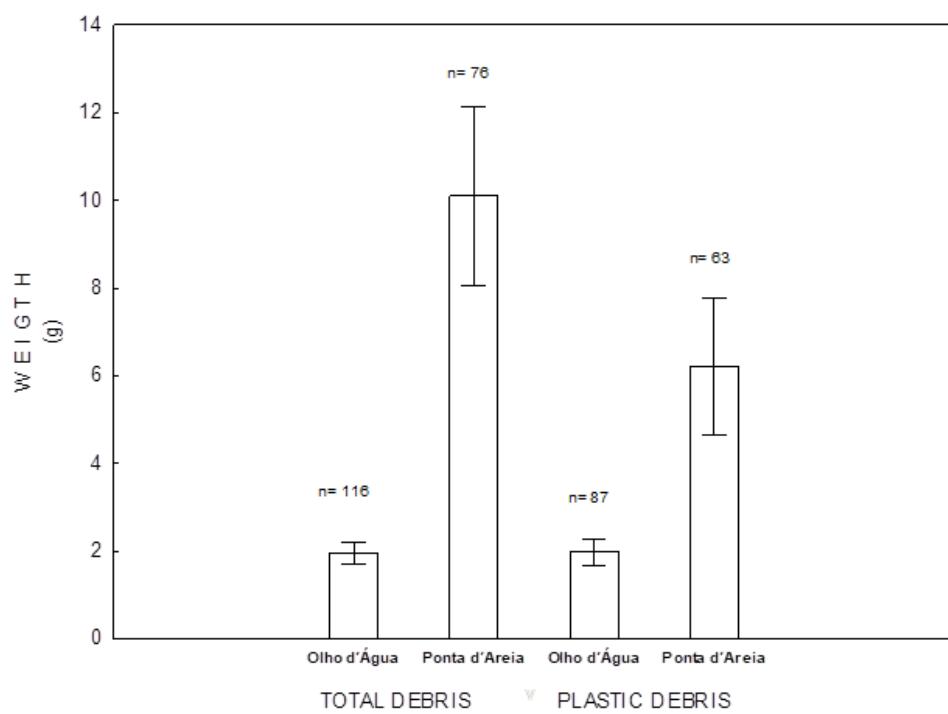


Figura 13 - Peso (média e desvio padrão) dos resíduos totais e plásticos nas praias Olho D'água e Ponta D'areia no período de estiagem.

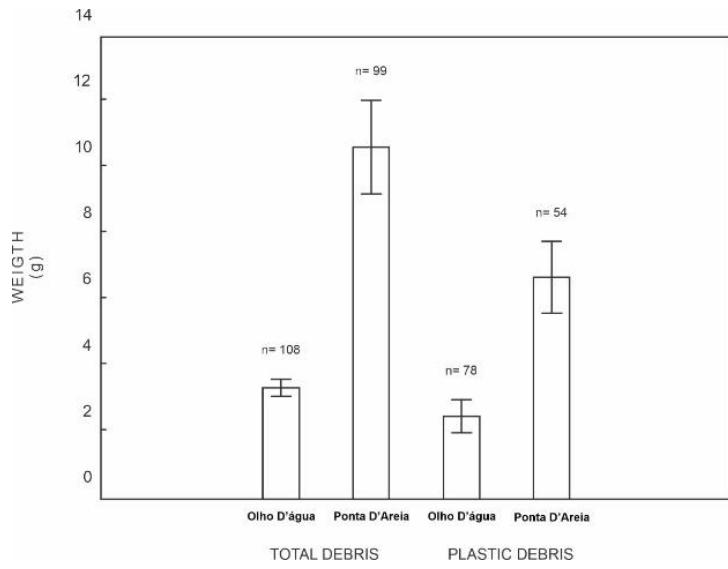


Figura 14 - Peso (media e desvio padrão) dos resíduos totais e plásticos nas praias Olho D'água e Ponta D'areia no período chuvoso .

Foram catalogadas 36 tocas de *O. quadrata* na praia Olho D`água e 61 na praia Ponta D'areia no periodo de estiagem, enquanto que no período chuvoso apenas uma toca foi catalogada na praia olho d'água e 120 na praia ponta d'areia (fig. 4). Os diâmetros das tocas variaram de 3,5 cm a 4,2 cm do período seco ao período chuvoso na praia do Olho D'água e de 6,19 cm a 6,16 cm na praia da Ponta D'areia (fig. 5).

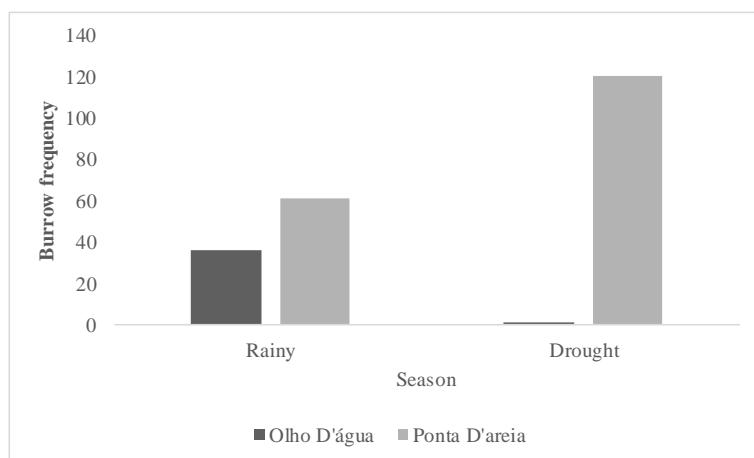


Figura 15 - Frequência das tocas de *O. quadrata* catalogadas nas praias Olho D'água e Ponta D'areia no período de estiagem e chuvoso.

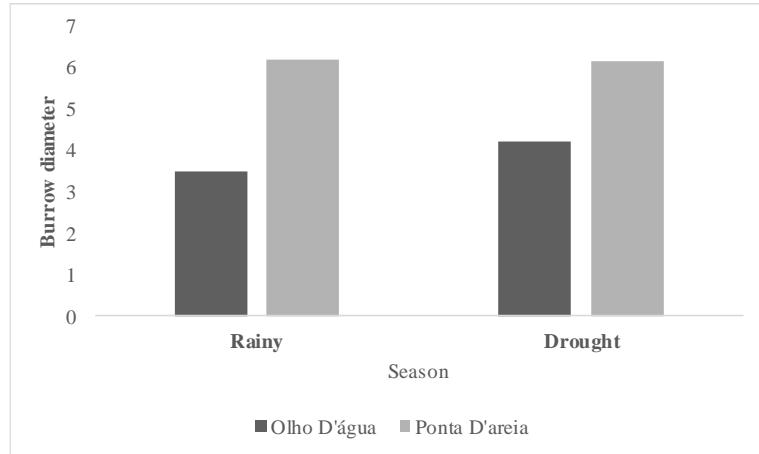


Figura 16 – Média do diâmetro das tocas de *O. quadrata* nas praias Olho D’água e Ponta D’areia no período de estiagem e chuvoso.

Os mapas de densidade mostram uma média de distribuição espacial das tocas de *O. quadrata* ao longo das praias do Olho D’água (fig.6) e Ponta D’areia (Fig. 7), onde é possível notar que a distribuição se dá principalmente na região do cordão de dunas e reduz à medida que se aproxima da região onde há o maior fluxo de pessoas, o padrão se repete para as duas praias.

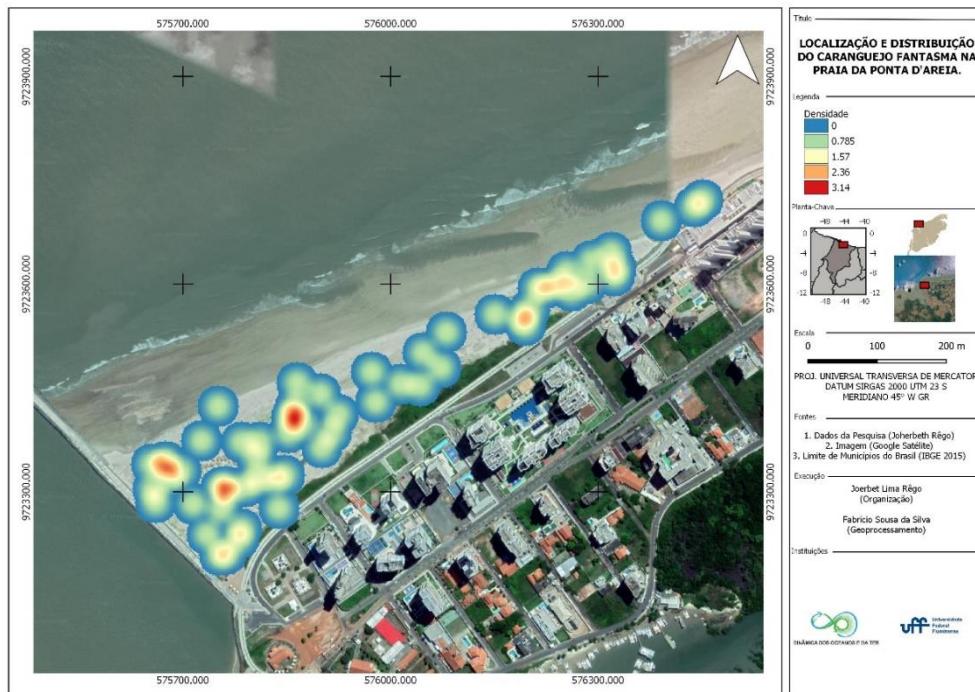


Figura 17 – Distribuição das tocas do caranguejo-fantasma ao longo da praia Ponta D’areia.

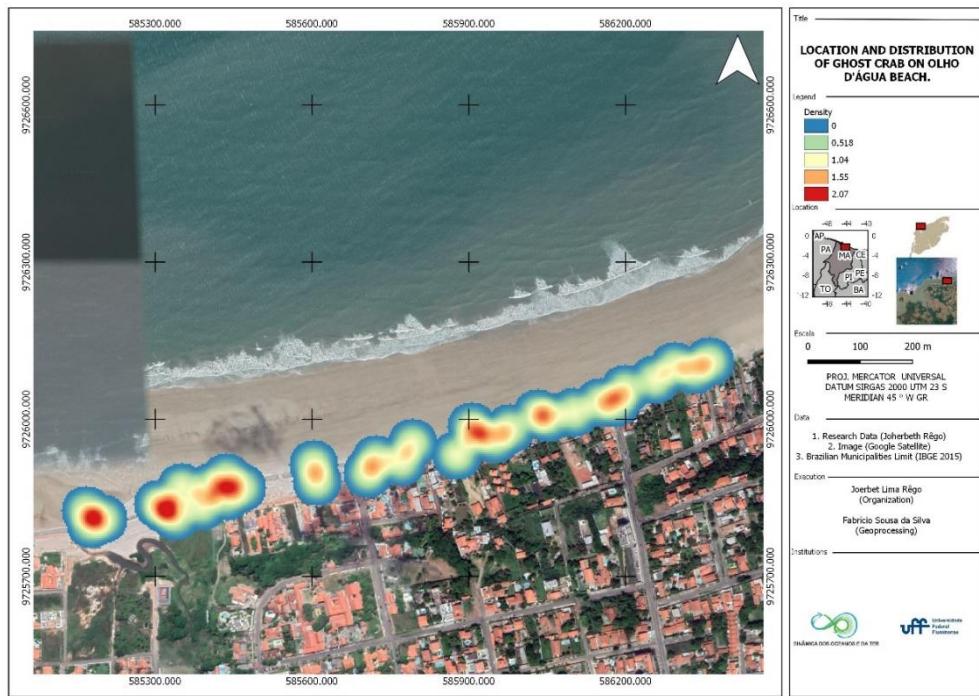


Figura 18 – Distribuição das tocas do caranguejo-fantasma ao longo da praia Olho D’água.

Os testes estatísticos (Tukey e ANOVA ONE WAY) revelaram que não houve diferença significativa entre as médias das amostras dos resíduos na praia da Ponta D’areia, ao contrário do que foi revelado para a praia Olho D’água onde o papel teve suas médias diferentes significativamente dos outros materiais espacial e sazonalmente.

A análise de componentes principais mostrou uma forte correlação positiva do vidro com o ponto 1, enquanto os metais e plásticos apresentaram correlação positiva com os pontos de 3 a 6, que representam as áreas mais povoadas da praia do olho d’água. A componente 1 explicou aproximadamente 47,4% dos dados amostrados e a componente 2 explicou 43,3%, totalizando 90,7% (Fig. 8).

Com relação a análise de componentes principais da praia Ponta D’areia, a frequência das tocas do caranguejo-fantasma, bem como os plásticos apresentaram uma correlação positiva com os pontos de 4 a 6 que representam as áreas menos povoadas, os metais, madeira e vidro se correlacionaram positivamente com os pontos de 1 a 3 onde o fluxo de pessoas é maior, a componente 1 explicou aproximadamente 54% dos dados amostrados enquanto a componente 2 explicou 37,9% dos dados totalizando 91,9% dos dados (fig. 9).

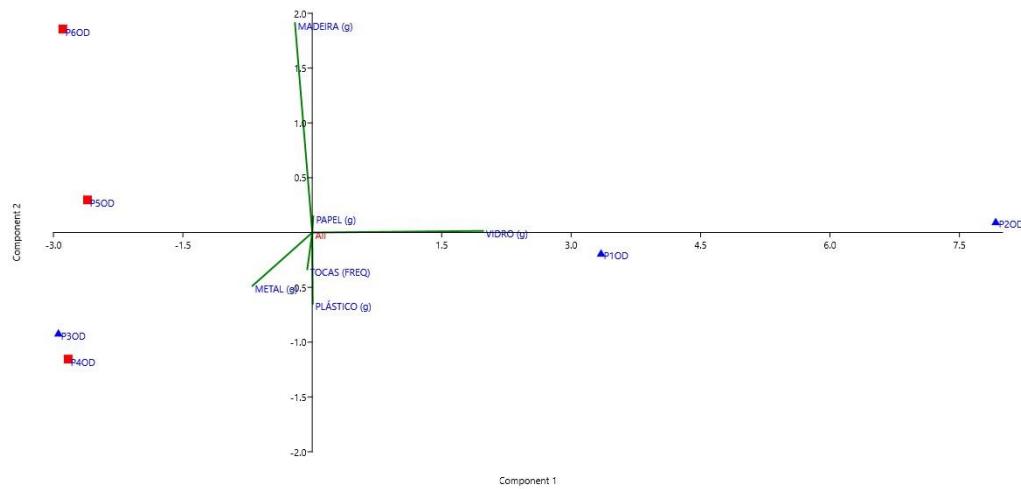


Figura 19 - Análise dos componentes principais, levando em consideração as seções, total dos resíduos e frequência das tocas de *O. quadrata* na praia Olho D'água.

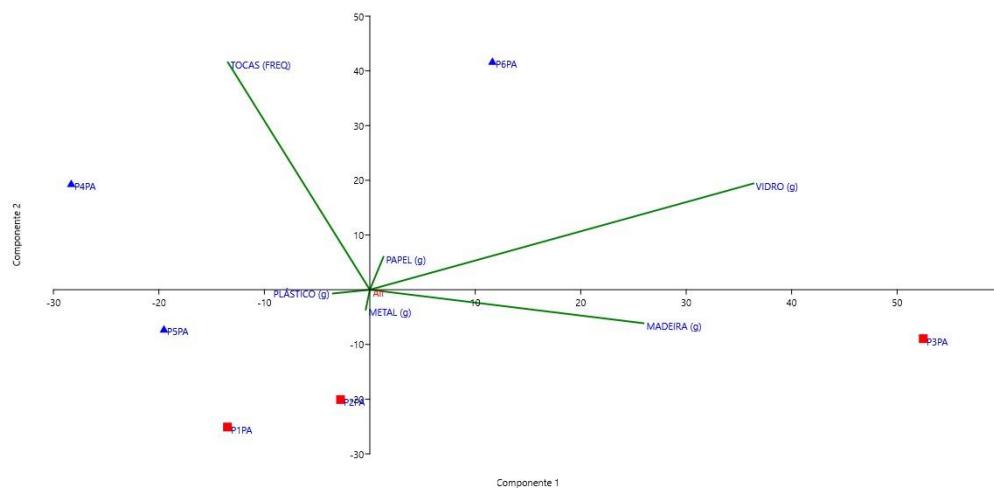


Figura 20 - Análise de componentes principais, levando em consideração as seções, total de resíduos e a frequência das tocas de *O. quadrata* na praia Ponta D'areia.

A tabela (01) mostra que durante a pesquisa em campo 14 veículos trafegaram na praia do Olho d'água enquanto na Ponta D'areia foi zero e a quantidades de imóveis dentro do ambiente praial foi de 34 no Olho D'água e 3 na Ponta D'areia ,postes de iluminação 134 e 17 nas respectivas praias e cesto de lixo disponível na praia zero no olho d'água e 56 na ponta da areia .

Praias	Tempo de pesquisa	Quantidade de Veículos trafegando	Imóveis em Dunas e no estirâncio	Postes de luz	Cestos de lixo
Olho D'agua	Das 09 às 12 horas	14	34	134	56
Ponta D'areia	Das 09 às 12 horas	0	03	17	0

Tabela 1 - Tabela dos dados de urbanização das praias Ponta D'areia e Olho D'água.

## 5. DISCUSSÃO

Os diâmetros das tocas variaram de 3,5 cm a 4,2 cm do período seco ao período chuvoso na praia do Olho D'água e de 6,19 cm a 6,16 cm na praia da Ponta D'areia (fig. 5). As diferenças encontradas no diâmetro médio das tocas entre as praias pode ser consequência da taxa específica de recrutamento e mortalidade de cada praia, que por sua vez podem estar associadas com diferenças morfodinâmica, disponibilidade de alimento e impactos antrópicos (TURRA, et al., 2005).

A contagem do número de tocas do caranguejo *O. quadrata* para obter estimativas de abundância da espécie, é uma técnica muito rápida e simples (Warren 1990) que pode ser útil em estudos que investigam os impactos antropogênicos em praias arenosas (Barros 2001). Na primeira pesquisa em outubro de 2018 ,foram catalogados um total de 61 tocas na praia da ponta da areia ,que possui um conjunto de dunas ,sem tráfego de veículos e baixo fluxo de pessoas , já na praia do olho d'água foram encontrados 36 tocas ,onde possui um grande fluxos de pessoas e veículos e uma baixa densidade de dunas.

No Rio Grande do Sul, Neves e Bemvenuti (2006) observaram uma menor densidade de *O. quadrata* nas praias mais impactadas pelas atividades humanas, além de uma alteração na distribuição vertical dos indivíduos em razão do tráfego de veículos. Já na segunda pesquisa em abril de 2019 foram catalogadas 120 tocas nas praias da ponta da areia, onde o cordão de dunas já se apresentava maior e com uma vegetação pré-estabelecida e na praia do Olho D'água apenas uma toca catalogada em virtude da ampliação da avenida litorânea fig. (10) sobre o estirâncio dizimando as poucas dunas que restavam no ambiente praial e tocas do caranguejo maria – farinha.



Figura 21 – Enroncamento para construção da extensão da avenida Litorânea na praia Olho D’água.

Estudos se concentram na estrutura da população dos caranguejos, visto que a ocupação humana nas áreas costeiras produz alterações na densidade desses organismos como mostrado na análise de componentes principais em que a frequência das tocas se correlacionaram positivamente com os pontos onde ocorre o menor fluxo de carros e pessoas, o fato de menores densidades de tocas serem registradas em praias sob impactos antrópicos oriundos do pisoteio, do tráfego de veículos (fig. 11) e da remoção das dunas também foi observado por Barros (2001); Jonah et al. (2015) e Souza et al. (2017).



Figura 22 – Fluxo de veículos na praia Olho D’água.

A densidade das tocas na praia do olho d’água por  $\text{m}^2$  variou de 0 a 2,07 e na praia da ponta da areia variou de 0 a 3,14 tocas por metro quadrado. A variação da densidade de *Ocypode*

*quadrata* vem sendo interpretada por diversos autores como resposta aos impactos antrópicos em praias arenosas e estuarinas (Araujo Et Al., 2008; Barros, 2001; Blankensteyn, 2006; Lucrezi et al., 2009; Magalhães et al., 2009; Sclacher et al., 2007; Souza Et Al., 2008;). A praia do olho d'água apresenta uma menor densidade de tocas de maria farinha suponhamos que o principal fator seja os impactos antropogênico que o ambiente praial vem sofrendo.

A grande quantidade de pessoas, tráfego de veículos e a prática esportiva, nas praias, são atividades potencialmente causadoras de redução na densidade populacional de *O. quadrata* (Blankensteyn, 2006; Neves e Benvenuti, 2006; Schlacher et al., 2007); sendo as espécies do gênero Ocypode consideradas bioindicadores de impactos oriundos da urbanização e uso descontrolado das praias (Barros, 2001). É importante observar que os veículos, podem impor mortalidade aguda à fauna endêmica ou transitória, particularmente em áreas com densas populações de fauna (Schlacher et al. 2007). Pesquisadores encontraram uma menor densidade de tocas de *O. quadrata* em praias com maior interferência humana, onde segundo os autores, o uso de veículos e de pedestres é intenso durante todo ano, (Silva e Calado, 2011; Jonah et al., 2015a; Souza et al., 2017). Semelhante as condições verificadas na praia do Olho D'água que possui intenso fluxo de veículos, banhistas e imóveis, mas próximo do estirâncio da praia (tab.01), onde consequentemente uma menor quantidades de dunas e como resultado catalogamos as menores tocas em diâmetro e frequência do *O. quadrata*. A destruição de dunas para construção de estradas e edifícios, as obras de proteções antrópicas da linha de costa, a poluição e a limpeza artificial das praias, além dos impactos causados pelas atividades recreativas e turísticas (Barros, 2001; Gheskier et al., 2006 Dugan et al 2008), são alguns dos principais impactos que afetam o ambiente praial e consequentemente a redução do habitat de animais selvagens e a perda da fauna praiana. O caranguejo fantasma é sensível ao tráfego de veículos (Neves e Benvenutti, 2006; Magalhaes et al. 2009).

A limpeza da praia é uma fonte de impacto adicional e importante para o caranguejo fantasma (Souza et al. 2017). É provável que essa menor densidade de tocas na praia do Olho D'água esteja relacionada a quatro fatores: redução do habitat, ocasionada pela instalação das barracas na área de ocorrência dos caranguejos; pisoteio, provocado pela forte presença de frequentadores locais e turistas durante todo o ano; limpeza da praia, realizada diariamente na área das barracas; e fluxo de veículos sobre o estirâncio da praia. O elevado fluxo de pessoas nas dunas provoca o deslocamento da areia, causando soterramento das tocas ou até mesmo a morte dos indivíduos por esmagamento.

Barros (2001) verificou que a perda de habitat e modificações na área de dunas reduziu a abundância de *O. cordimanus* em praias urbanizadas na costa da Austrália. Estudos realizados por Souza et al. (2008) e Magalhães et al. (2009) também constataram baixas densidades de tocas de *O. quadrata* em praias urbanizadas. Já Neves e Bemvenuti (2006) encontraram baixas densidades desta espécie nas praias com maior fluxo de veículos e pedestres. Vieira, Calliari e Oliveira (2004) concluíram que áreas com trânsito de veículos apresentam maiores valores de compactação do sedimento. É provável que tais modificações possam dificultar a construção de tocas pelos caranguejos-fantasma nas áreas mais compactadas, sendo um fator adicional para a redução de sua ocorrência na praia do Olho D'água.

Na segunda pesquisa o fator preponderante que dizimou com as tocas do caranguejo fantasmas e provavelmente com a espécie na praia do olho da agua foram as obras de ampliação da avenida litorânea sobre a praia que destruí as poucas dunas restantes, assim como parte do estirâncio da praia, provocando grandes impactos ambientais, talvez irreversíveis sobre a fauna deste ambiente em estudo. Conforme as pesquisas de Silva e Farias Filho, (2019) os impactos ambientais na Praia do Olho D'agua, constatou-se como principais ações, a supressão da cobertura vegetal, uso indevido das áreas de dunas para criação de residências, e construção de vias de acesso, como é o caso do prolongamento da Avenida Litorânea (construção mais recente), que contribuíram significativamente para o incremento de impactos ambientais no ambiente natural. Já segundo Masullo (2012), a construção da Avenida Litorânea modificou a morfodinâmica costeira existente nas praias da região norte do município de São Luís, com a construção de taludes, terraplanagem, cortes, aterros, construção de vales e bueiros, em áreas de dunas e encostas, além dos desmatamentos.

As atividades antrópicas podem causar vários impactos ambientais e socioeconômicos, incluindo a perda de potencial recreativo e ambiental. Esses processos podem exigir a implementação de medidas duras e onerosas (paredões, virilhas e quebra-mares) ou brandas (nutrição artificial, restauração de dunas e manguezais) para conter a erosão e proteger características específicas da linha de costa (Masria et al., 2015). Nas praias em estudo observamos construções artificiais de proteções da costa contra erosão, já que as barreiras naturais de proteção da costa (cordões de dunas, paleodunas, manguezais,) deram lugar as obras de engenharias (enrocamentos, muros, espião, avenidas e imóveis), fig. (12) A ocupação humana em áreas de dunas e bermas promove a redução de sedimentos disponíveis nos processos morfodinâmica das praias brasileiras, conforme reportado por Albino et al. (2001). No litoral da região metropolitana de Fortaleza, existem mais de 70 obras de engenharia costeira

para controle de erosão, aproximadamente metade das quais é de blindagem (Paula, 2015). Apesar do grande avanço tecnológico o homem ainda não foi capaz de conseguir a mesma eficácia das barreiras naturais de proteção da costa., onde de acordo com Costa et al (2013) em nossa área de estudo o enroncamento colocado na praia está afetando a desembocadura do rio Pimenta na Baía de São Marcos, as rochas usadas na obra estão obstruindo a passagem da água gerando mais um impacto decorrente do prolongamento da avenida, pois a descarga do rio, em que predomina esgoto in natura, fica represada entre a obra e as dunas, exalando mau cheiro além de oferecer riscos aos moradores da área e àqueles que frequentam a praia. Segundo Pereira (et al 2018), estruturas precárias são encontradas em algumas Praias em São Luís Resíduos sólidos e esgoto são as principais fontes de contaminação nas praias mais populares da Amazônia, a falta de coleta de lixo ou saneamento público, associado com a falta geral de consciência ambiental dos frequentadores.



Figura 12 – área em estudo antes da construção da avenida litorânea e ampliação da avenida na praia

A grandes quantidades de refletores sobre a áreas em estudo gera impactos sobre a biota praiana e inclusive sobre o caranguejo maria farinha (tab. 01), onde foi observado na praia do olho d’água apesar de ter menor quantidade de postes, que na praia da ponta da areia, eles estão presente dentro do estirâncio da praia tendo um impacto ainda maior sobre a fauna. Facilitando a detecção de presas por predadores (Rydell, 1992) e alterando os comportamentos de forrageamento e no ritmo circadianos (Bird et al., 2004). Estudos sobre os efeitos da luz artificial nas praias brasileiras têm focado nos vertebrados, principalmente tartarugas (Kamrowski et al. 2012)

Já em praias com menores níveis de atividades humanas seguiu o mesmo padrão de Vila Velha, com uma maior densidade da espécie nas praias menos impactadas (Blankensteyn,

2006). Condição semelhante a praia da ponta da areia, onde temos cordão de dunas bastante preservado com vegetação, com baixo fluxo de pessoas e veículos e como resultado uma maior frequência de tocas e com maior diâmetro. Estudos realizados por Branco et al. (2010) demonstraram que as dunas, quando presentes, podem abrigar alta densidade populacional dos caranguejos, principalmente os indivíduos adultos. Estes caranguejos possuem um ciclo reprodutivo sazonal-contínuo (Lucrezi; Shlacher, 2014), sendo relatado que o período reprodutivo de *O. quadrata* ocorre o ano inteiro, (Blankensteyn, 2006; Vinagre et al., 2007; Branco et al., 2010; Lucrezi; Shlacher, 2014).

Em nossos dados (fig. 9) mostrou uma relação positiva entre as tocas dos caranguejos fantasma e os resíduos plástico na praia da Ponta da Areia. Essa interação pode ser explicada, porque os caranguejos fantasmas provavelmente identificam erroneamente (estimulados pelo cheiro de comida) detritos marinhos com fontes alimentares (Costa et al. 2019b).

O Brasil produz mais de 11 milhões de toneladas de plástico por ano e 2,4 milhões são descarregados de forma irregular (WWF, 2019). Quase 1 milhão de toneladas desse lixo mal administrado da terra pode ser descartado anualmente no oceano (Jambeck et al., 2015). Segundo o que foi apresentado nos resultados, o plástico foi o material mais encontrado contribuindo com aproximadamente 50% do total de resíduos sólidos em todas áreas amostradas (maior e menor fluxo recreativo). Isto pode ser explicado devido as características físicas do plástico, como durabilidade, por serem quase inertes à ação da água, e flutuabilidade, características que permitem seu transporte pela ação da água e até mesmo do vento. Este aspecto do lixo marinho é tão importante que Alkalay et al. (2007) sugerem o uso de itens plásticos como indicadores do índice de limpeza da costa (Clean Coast Index).

As outras categorias de resíduos sólidos (metal, madeira, vidro e papel) apresentaram concentrações bem menores que os plásticos, fato que pode ser explicado também devido à natureza e as características físicas do material, o vidro por exemplo é um material pesado e difícil de ser transportado, o papel por sua vez teve suas médias se diferenciando significativamente espacial e sazonalmente das médias das outras categorias, também devido as características físicas do material que por sua vez é facilmente degradado.

O total amostrado no período chuvoso foi maior nas praias do Olho D'água corroborando com os dados encontrados por (Gabrielides et al., 1991; Golik & Gertner, 1992; Madzena & Lasiak, 1997, Ivar do Sul, 2008) pois é a época do ano em que ocorre o maior fluxo de turistas bem como o aumento das descargas fluviais e drenagem de efluentes (fig. 13)

trazendo consigo grande parte desses resíduos sólidos. A importância das desembocaduras de drenagens pluviais como fontes de resíduos foi igualmente observada por Cunningham & Wilson (2003).



Figura 13 – Lançamento de efluentes in situ oriundos de bares e casas.

Porém o mesmo não ocorreu na praia Ponta D'areia que mostrou uma diminuição no total de resíduos sólidos amostrados no período chuvoso, fato que pode ser explicado por conta da limpeza das praias de São Luís pela prefeitura que ocorreu no dia da amostragem (Fig. 14).



Figura 14 – Prefeitura da cidade realizando a limpeza das praias.

Além da contribuição dos resíduos sólidos oriundos dos bares e estabelecimentos no litoral e das descargas fluviais como já foi citado, ocorre também o “encalhe” de resíduos sólidos oriundos de outros países (fig. 115) como embalagens plásticas e até mesmo matéria-prima transportadas por navios que acabam caindo na água (fig. 16).



Figura 15 – Embalagens plásticas oriundas de outros países na areia da praia.



Figura 16 – Matéria prima em látex provavelmente trazida até a areia pela ação das ondas.

Shimizu et al. (2008) sugerem que tanto as atividades desenvolvidas nas proximidades das praias quanto as condições climáticas e de estado do mar podem determinar a natureza dos itens encontrados, interagindo de tal modo que os itens presentes em determinada área são

significativamente dependentes das condições locais. Atualmente, o impacto do lixo na biodiversidade, na saúde humana e até na economia do turismo é um grande desafio global (Rochman et al., 2015). Conclusão

Considerando os efeitos negativos da urbanização e do uso descontrolado das praias em sua biota, recomenda-se a adoção de medidas sistemáticas de controle da qualidade ambiental em áreas costeiras para conservação de sua biodiversidade (Neves e Benvenuti, 2006). Na costa da Ilha do Maranhão, análises de possíveis impactos provocados em sua fauna, decorrentes dos processos de urbanização, e uso das praias devem ser adotadas, sendo desejável a conservação e revitalização da vegetação suprimida ,dunas e a manutenção da faixa de areia existente, já que em grande parte a legislação pertinente foi desconsiderada durante o processo de crescimento do Município de São Luís.O uso do caranguejo *O. quadrata* para análise do estado de conservação do ambiente é tido com uma boa alternativa, tendo em vista os resultados obtidos previamente, baixo custo financeiro e viabilidade (Barros, 2001; Neves e Benvenuti, 2006). Já para resolver a problemática do lixo tanto na área de estudo, quanto em outras praias contaminadas por lixo de fontes terrestres, as soluções devem estar focadas principalmente em medidas preventivas, ou seja, o lixo não deve chegar ao curso hídrico, para que este não alcance posteriormente o litoral. Para isto, medidas como a destinação adequada do lixo produzido nos municípios ao longo da bacia, a implantação de um sistema eficiente de coleta seletiva e reciclagem, e programas de educação ambiental nas escolas e nas praias devem fazer parte do sistema de gerenciamento dos municípios. Isto deve ocorrer de forma integrada entre os municípios integrantes da bacia hidrográfica, com o intuito de estabelecer uma forma sustentável de redução e, se possível, erradicação dos problemas de poluição por lixo em praias.

## 6. CONCLUSÃO:

Considerando os efeitos negativos da urbanização e do uso descontrolado das praias em sua biota, recomenda-se a adoção de medidas sistemáticas de controle da qualidade ambiental em áreas costeiras para conservação de sua biodiversidade (Neves e Benvenuti, 2006). Na costa da Ilha do Maranhão, análises de possíveis impactos provocados em sua fauna, decorrentes dos processos de urbanização, e uso das praias devem ser adotadas, sendo desejável a conservação e revitalização da vegetação suprimida ,dunas e a manutenção da faixa de areia existente, já que em grande parte a legislação pertinente foi desconsiderada durante o processo de crescimento do Município de São Luís.O uso do caranguejo *O. quadrata* para análise do estado de conservação do ambiente é tido com uma boa alternativa, tendo em vista os resultados obtidos previamente, baixo custo financeiro e viabilidade (Barros, 2001; Neves e Benvenuti, 2006). Já para resolver a problemática do lixo tanto na área de estudo, quanto em outras praias contaminadas por lixo de fontes terrestres, as soluções devem estar focadas principalmente em medidas preventivas, ou seja, o lixo não deve chegar ao curso hídrico, para que este não alcance posteriormente o litoral. Para isto, medidas como a destinação adequada do lixo produzido nos municípios ao longo da bacia, a implantação de um sistema eficiente de coleta seletiva e reciclagem, e programas de educação ambiental nas escolas e nas praias devem fazer parte do sistema de gerenciamento dos municípios. Isto deve ocorrer de forma integrada entre os municípios integrantes da bacia hidrográfica, com o intuito de estabelecer uma forma sustentável de redução e, se possível, erradicação dos problemas de poluição por lixo em praias.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-hilal, a. H. & al-najjar, t. Litter pollution on the Jordanian shores of the Gulf of Aqaba (Red Sea). *Marine Environmental Research*, v.58, p.39-63. 2004.
- Albino, J., Paiva, D.S. & Machado, G.M. 2001. Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. *Geografares*, 2.
- Alkalay, R.G.; Pasternak, G.; Zask, A. (2007) - Clean-Cost Index-A New Approach for Beach Cleanliness Assessment. *Ocean and Coastal Management*, 50:352-362. DOI: 10.1016/J.Ocecoaman.2006.10.002.
- Andrade, A. L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 8, p. 1596-1605.
- Araujo, C.C.V. et al. Densidade e distribuição espacial do caranguejo *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) (Crustacea, Ocypodidae) em três praias arenosas do Espírito Santo, Brasil. *Biotemas*, Florianópolis, SC, v. 21, n. 4, p.73–80, 2008
- Araújo, M. C. B.; Costa, M. F. Visual diagnosis of solid waste contamination of a tourist beach: Pernambuco, Brazil. *Waste Management*, v.27, p.833-839. 2007.
- Araújo, M.C. B.; Costa, M.F. Lixo no ambiente marinho. *Ciência. Hoje* - vol. 32, nº 191, março de 2003.
- Araújo, M.C.B. & Costa, M.F. (2016). Praias urbanas: o que há de errado com elas? *Revista de Meio Ambiente e Sustentabilidade*, doi.org/10.22292/mas.v11i05.578.
- Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., 2009. Proceedings of the International Research Workshop on The Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. Sept 9 11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR & R-30. (49p).
- Bakir, A.; Rowland, S. J.; Thompson, R. C. 2014. Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140: 14-21.
- Barras, R., 1963. The burrows of *Ocypode Ceratophthalmus* (Pallas) (Crustacea, Ocypodidae) on a tidal wave beach at Inhaca Island, Moçambique. *Journal of Animal Ecology*, 32: 73-85.
- Barros, F., 2001. Ghost crabs as a tool for rapid assessment of human impacts on exposed sandy beaches. *Biological Conservation*, 97: 399–404.
- Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Besada, V., Martínez-Gómez, C., 2016. Ingestion of Microplastics By Demersal Fish from The Spanish Atlantic And Mediterranean Coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 109: 55–60.

- Besley, A., Vijver, M.G., Behrens, P., Bosker, T., 2017. A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 114: 77–83.
- Bird, B.L., Branch, L.C. & Miller, D.L. 2004. Effects of coastal lighting on foraging behavior of beach mice. *Conservation Biology*, 18: 1435–1439.
- Blankensteyn, A. 2006. O uso do caranguejo maria-farinha *Ocypode quadrata* (Fabricius) (Crustacea, Ocypodidae) como indicador de impactos antropogênicos em praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23 (3): 870-876.
- Branco, J. O. Et Al. Bioecology of the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) (Crustacea: Brachyura) compared with other intertidal crabs in the southwestern Atlantic. *Journal of Shellfish Research*, New York, US, v. 29, n. 2, p. 503-512, 2010.
- Browne, M. A. Crump, P. Niven, S. T. Teuten, E. Tonkin, A. Galloway, T. Thompson, R. C., 2011. Accumulation of Microplastic On Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, V. 45, N. 21, P. 9175-9179.
- Browne, M. A.; Galloway, T.; Thompson, R., 2007. Microplastic – An Emerging Contaminant of Potential Concern? *Integrated Environmental Assessment and Management*, V. 3, N. 4, P. 559-561.
- Browne, M.A., Dissanayake, A., Galloway, T.S., Lowe, D.M., Thompson, R.C., 2008. Ingested Microscopic Plastic Translocates To the Circulatory System of The Mussel, *Mytilus Edulis* (L.). *Environmental Science & Technology* 42, 5026–5031.
- Camargo, M. G., 2006 Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Revista brasileira de geociências*, pp. 345-352.
- Carignan, V., Villard, M.-A., 2002. Selecting Indicator Species to Monitor Ecological Integrity: A Review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 78, 45–61.
- Chessman, B.C., 1995. Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and a biotic index. *Australian Journal of Ecology*, 20: 122–129.
- Christoffers, e.w., 1986. Ecology of the ghost crab *Ocypode quadrata* (fabricius) on assateague island, maryland and the impacts of various human uses of the beach on their distribution and abundance. Phd thesis, university of michigan. Pp. 210.
- Colabuono, f. I. Poluentes orgânicos persistentes e ingestão de plásticos em albatrozes e petréis (procacciiformes). 2011. Instituto oceanográfico, universidade de São Paulo.

- Cole, M., Lindeque, p., Fileman, e., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, t.s., 2013. Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology*. 47, 6646–6655.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, t.s., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 62, 2588–2597.
- Corbin Cj And Singh Jg 1993. Marine debris contamination of beaches in St. Lucia and Dominica. *Marine Pollution Bulletin*, 26:325-328.
- Corcoran, P.L., Biesinger, M.C. & Grifi, M., 2009. Plastics and beaches: a degrading relationship. *Marine Pollution Bulletin*. 58: 80–84.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.022>
- Costa, L.L. & Zalmon, I.R. 2019. Multiple metrics of the ghost crab *Ocypodequadrata* (Fabricius, 1787) for impact assessments on sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218: 237-245. (b).
- Costa,C.M.C; Pires,J.C.C; Nascimento.E.S; Passos,D.C 2013. Impactos Ambientais Configurados No Prolongamento Da “Avenida Litorânea”, Município De São Luís, Maranhão – Brasil.  
Disponível <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal14/procesosambientales/impactoambiental/28.pdf>.
- Cunningham, D.J.; Wilson, S.P. (2003) - Marine Debris on Beaches of The Greater Sydney Region. *Journal of Coastal Research*, 19:421-430.
- Da Costa, J. P. Santos, P. S. M. Duarte, A. C. Rocha-Santos, T., 2016. (Nano)Plastics in The Environment – Sources, Fates and Effects. *Science of The Total Environment*, V. 566–567, P. 15-26.
- Derraik, J.G.B., 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*. 44, 842–852. Doi:10.1016/s0025-326x (02)00220-5.
- Di Benedetto, a. P.; Awabdi, D. R. How marine debris ingestion differs among megafauna species in a tropical coastal area. *Marine pollution bulletin*, v. 88, n. 1-2, p. 86-90, 2014.
- Dugan, J. E.; Hubbard, D. M.; Rodil, I. F.; Revell, D. L.; Schroeter, S. Ecological effects of coastal armoring on sandy beaches. *Marine Ecology* v. 29, p. 160- 170. 2008.
- Duis, k.; Coors, a. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, v. 28, n. 1, p. 1-25, 2016.

- Endo, S.; Yuyama, M.; Takada, h. Desorption kinetics of hydrophobic organic contaminants from marine plastic pellets. *Marine pollution bulletin*, v. 74, n. 1, p. 125-31, 2013.
- Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G., Reisser, J., 2014. Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *Plos one* 9, e111913.
- Fendall, L. S.; Sewell, M. A., 2009. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, v. 58, n. 8, p. 1225-1228.
- Folk, R.L. E Ward. W.C., 1957. Brazos River Bar: Study and significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, pp. 27: 03-26.
- Freire, M.C.C.C., Monteiro, R., 1993. Florística das praias da Ilha de São Luís: estado do Maranhão (Brasil): diversidade de espécies e suas ocorrências no litoral brasileiro. *Acta Amazon.* 23, 125–140.
- Fulton, E.A., Smith, A.D.M., Punt, A.E., 2005. Which ecological indicators can robustly detect effects of fishing? *ICES J. Mar. Sci.* 62, 540–551.
- Gabrielides, G.; Golik, A.; Loizides, L.; Marino, M.; Bingel, F.; Torregrossa, M. (1991) - Man-Made Garbage Pollution on The Mediterranean Coastline. *Marine Pollution Bulletin*, 23:437-441. DOI:10.1016/0025-326X (91)90713-3.
- Garcia, C.A.E., 1997. Hydrographic Characteristics. In: U. Seeliger; C. Odebrecht; J. P. Castello. (Org.). *Subtropical Convergence Environments: The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Heidelberg, New York: Springer-Verlag, v., p. 18-20.
- Gesamp., 2015. Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment. *Rep. Stud. GESAMP*, v. 90, p. 96.
- Gheskiere, T.; Magda, V.; Greet, P.; Steven, D. Are strandline meiofaunal assemblages affected by a once-only mechanical beach cleaning? Experimental findings. *Marine Environmental Research*, v. 61, p. 245-264. 2006.
- Golik, A; Gertner, Y. (1992) - Litter on The Israeli Coastline. *Marine Environmental Research*, 33(1):1-15. DOI:10.1016/0141-1136(92)90002-4.
- INMET, 2016. Instituto Nacional De Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br> (Accessed 1 August 2016).
- Ivar Do Sul, J.A. (2008) - Implicações De Fatores Ambientais Na Deposição De Plásticos No Ambiente Praial De Um Ecossistema Estuarino. Dissertação De Mestrado, 45p., Universidade Federal De Pernambuco, Recife, PE, Brasil. Disponível Em: [Http://Www.Bdtd.Ufpe.Br/Tedesimplificado//Tde\\_Busca/Arquivo.Php?Codarquivo=4052](Http://Www.Bdtd.Ufpe.Br/Tedesimplificado//Tde_Busca/Arquivo.Php?Codarquivo=4052).

- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrade, A., Narayan, R. & Law, K. L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768-771.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrade, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Clim. Chang. 2014 Impacts, Adapt. Vulnerability Part B Reg. Asp. Work. Gr. II Contrib. to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.* 1655–1734. doi:10.1017/CBO9781107415386.010
- Jonah, F. E.; Agbo, N. W.; Agbeti, W.; Adjel-Boateng, D.; Shimba, M. J. The ecological effects of beach sand mining in Ghana using ghost crabs (*Ocypode* species) as biological indicators. *Ocean & Coastal Management*, v. 112, p. 18-24. 2015.
- Kamrowski, R. L., Limpus, C., Moloney, J. & Hamann, M. 2012. Coastal light pollution and marine turtles: assessing the magnitude of the problem. *Endangered Species Research*, 19(1): 85-98.
- Lambeck, R.J., 1997. Focal species: a multi species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*, 11: 849–856.
- Leslie, H.A., Van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D., 2013. Microplastic survey of the Dutch environment. Novel data set of microplastics in North Sea sediments, treated wastewater effluents and marine biota. IVM Institute for Environmental Studies (Report number R-13/11. 30pp).
- Lucrezi, S., Schlacher, T.A., Walker, S.J., 2008. Monitoring human impacts on sandy shore ecosystems: a test of ghost crabs (*Ocypode* spp.) as biological indicators on an urban beach. *Environmental Monitoring and Assessment*, doi:10.1007/s10661-008-0326-2.
- Lusher, A.L., Tirelli, V., O'connor, I., Officer, R., 2015. Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Sci. Rep.* 5, 14947.
- Madzena, A.; Lasiak, T., (1997) - Spatial and Temporal Variations in Beach Litter on The Trankei Coast of South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 34(11):900-907. DOI:10.1016/S0025-326X (97)00052-0.
- Magalhães, W. F.; Lima, J. B.; Barros, F. & Dominguez, J. M. L. Is *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) a useful tool for exposed sandy beaches management in Bahia State (Northeast Brazil)? *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 57, n. 2, p.149-152. 2009
- Martins, G. E.D. Rodrigues, V.C.C. Feitosa, A. C, (2008). Environmental degradation: The Case of the Beach of the Olho d'água, São Luis-Maranhão-Brazil. lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/1007.pdf. Acessado em setembro de 2019.

- Masria, A., Iskander, M., Negm, A., 2015. Coastal protection measures, case study (Mediterranean zone, Egypt). *Journal of Coastal Conservation*, 19 (3): 281–294. <https://doi.org/10.1007/s11852-015-0389-5>.
- Masullo, Y. A. G.; Rangel, M. E. S. (2012). O uso e ocupação do Solo e alterações climáticas na ilha do Maranhão. *Revista Geonorte, Edição Especial 2*, v. 2, n. 5,
- Moss, D., Mcphee, D.P., 2006. The impacts of recreational fourwheel driving on the abundance of the ghost crab (*Ocypode cordimanus*) on subtropical sandy beaches in SE Queensland. *Coast. Manage.* 34, 133–140.
- Napper, I. E. Bakir, A. Rowland, S. J. Thompson, R. C., 2015. Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*.
- Neves, F. M.; Benvenuti, E. C. 2006. The ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) as a potential indicator of anthropic impact along the Rio Grande do Sul coast, Brazil. *Biological Conservation*, 33: 431-435
- Noss, R.F., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4: 355–364.
- Ogata, Y. Takada, H. Mizukawa, K. Hirai, H. Iwasa, S. Endo, S. Mato, Y. Saha, M. Okuda, K. Nakashima, A. Murakami, M. Zurcher, N. Booyatumanondo, R. Zakaria, M. P. Dung, L. Q. Gordon, M. Miguez, C. Suzuki, S. Moore, C. Karapanagioti, H. K. Weerts, S. Mcclurg, T. Burres, E. Smith, W. Velkenburg, M. V. Lang, J. S. Lang, R. C. Laursen, D. Danner, B. Stewardson, N. Thompson, R. C., 2009. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. *Marine Pollution Bulletin*, v. 58, n. 10, p. 1437-1446.
- Oigman-Pszczol, S.S.; Creed, J.C. Quantification and classification of marine litter on beaches along Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v.23, n.2, p.421-428. 2007.
- Paula, D.P. 2015 Erosão Costeira E Estruturas De Proteção No Litoral Da Região Metropolitana De Fortaleza (Ceará, Brasil): Um Contributo para Artificialização do Litoral. REDE - Revista Eletrônica Do PRODEMA, 9(1).
- Pereira, L.C.C., Trindade, W.N., Silva, I.R., Vila-Concejo, A., Short, A.D., 2016. Maranhão beach systems, including the human impact in São Luís beaches. In: Short, A.D., Klein, A. (Eds.), *Brazilian Beach Systems Coastal Research Library 17*. Springer, Switzerland, pp. 125–152.
- Pereira, L.C.C., Sousa, R.C., Costa, R.M., Jiménez, J.A., 2018. Challenges of the recreational use of Amazon beaches. *Ocean Coastal Management*, 165: 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.08.012>.

- Plastics Europe, 2016. Plastics – The Facts 2016. An Analysis of European Latest Plastics Production, Demand and Waste Data. <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics—the-facts-2016-15787.aspx?FOLID=2>.
- Resh, V.H., 2008. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 138: 131–138.
- Rios, L. M.; Moore, C.; Jones, P. R. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin*, v. 54, n. 8, p. 1230-1237, 2007.
- Rocha, C.F.D., Bergallo, H.G., Van Sluys, M., Alves, M.A.S., Jamel, C.E., 2007. The remnants of resting habitats in the Brazilian Atlantic Forest of Rio de Janeiro state: brazil: Habitat loss and risk of disappearance. *Brazil. J. Biol.* 67, 263–273.
- Rochman, C.M., Tahir, A., Williams, S.L., Baxa, D.V., Lam, R., Miller, J.T., ... & Teh, S. J. 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5, 14340.
- Rummel, C.D., Löder, M.G.J., Fricke, N.F., Lang, T., Griebeler, E.M., Janke, M., Gerdts, G., 2016. Plastic ingestion by pelagic and demersal fish from the North Sea and Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 102: 134–141.
- Rydell, J. 1992. Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Functional Ecology*, 6: 744–750
- Santana, M.F.M., Ascer, L.G., Custódio, M.R., Moreira, F.T., Turra, A., 2016. Microplastic contamination in natural mussel beds from a Brazilian urbanized coastal region: rapid evaluation through bioassessment. *Marine Pollution Bulletin*, 106: 183–189.
- Schlacher, T.A., Thompson, L.M.C., Price, S., 2007a. Vehicles versus conservation of invertebrates on sandy beaches: mortalities inflicted by off-road vehicles on ghost crabs. MSchlacher, T. A.; Thompson, L.; Price, S. 2007. Vehicles versus conservation of invertebrates on sandy beaches: mortalities inflicted by off-road vehicles on ghost crabs. *Marine Ecology*, 28: 354-367. Sokal, R. R.; Rohlf, F. 1981. *Biometry*. 1th ed. W. H. Freeman, New York, USA, 859pp. ar. *Ecol.* 28, 1–14.
- Schoener, T.W., 1986. Patterns in terrestrial vertebrate versus arthropod communities: do systematic differences in regularity exist? In: Diamond, J., Case, T.J. (Eds.), *Community Ecology*. Harper & Row, New York, USA, pp. 556– 586.
- Shimizu, T.; Nakai, J.; Nakajima, K.; Kozai, N.; Takahashi, G.; Matsumoto, M.; Kikui, J. (2008) – Seasonal Variations in Coastal Debris on Awaji Island, Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 57(1-5):182–186. DOI:10.1016/J.Marpolbul.2007.10.005.

- Short, A.D., 2006. Australian beach systems – nature and distribution. *J. Coast. Res.* 22, 11–27.
- Silva, Iracema Reimãoetal. Diagnóstico ambiental e avaliação da capacidade de suporte das praias do bairro de Itapoã, Salvador, Bahia. Soc. nat. [online]. 2009, vol.21, n.1, pp. 71-84.
- Silva, J.S.; Barbosa, S.C.T.; Costa, M.F. (2008a) - Flag items as a tool for monitoring solid wastes from users on urban beaches. *Journal of Coastal Research*, 24(4):890-898. DOI: 10.2112/06-0695.1.
- Silva, R.M., Mehlig, U., Santos, J.U.M., Menezes, M.P.M., 2010. The coastal restinga vegetation of Pará: Brazilian Amazon: a synthesis. *Rev. Brazil. Bot.* 33, 563–573.
- Silva, W. T. A. F.; Calado, T. C. S. Spatial distribution of and anthropogenic impacts on ghost crab *Ocypode quadrata* (Crustacea, Ocypodidae) burrows in Maceió, Brazil. *Revista Nordestina de Zoologia*, v. 5, n. 1, p. 1-9. 2011.
- Silva,J.S, Farias Filho, M. Expansão urbana e impactos ambientais na zona costeira norte do município de são luís (MA). *RaegaCuritiba*, v. 46, p. 07-24 Mar.2019.
- Silva-Iñiguez, L.; Fischer, D. W. Quantification and classification of marine litter on the municipal beach of Ensenada, Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, v.46, p.132-138. 2003.
- Souza, G. N.; Oliveira, C. A. G.; Tardem, A. S.; Soares-Gomes, A. Counting and measuring ghost crab burrows as a way to assess the environmental quality of beaches. *Ocean & Coastal Management* 140:1-10 · May 2017.
- Souza, J. R. B.; Lavoie, N.; Bonifácio, P. H.; Rocha, C. M. C. Distribution of *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) on sandy beaches of Northeastern Brazil. *Atlântica*, v. 30, n. 2, p. 139-145. 2008. *Ocean & Coastal Management*, v. 140, p. 1-10, 2017.
- Souza-Filho, P.W.M., 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23: 427–435.
- Szlafsztein, C.F., 2012. The Brazilian Amazon coastal zone management: implementation and development obstacles. *J. Coast. Conserv.* 16, 335–343.
- Talsness, C. E. Andrade, A. J. M. Kuriyama, S. N. Taylor, J. A. Vom Saal, F. S. Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1526, p. 2079-2096, 2009.
- Thompson, R.C., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304, 838.

- Turra, A. et al. Spatial distribution of the ghost crab *Ocypode quadrata* in low-energy tide-dominated sandy beaches. Journal of Natural History, London, GB, v. 39, n. 23, p. 2163-2177, 2005
- Valle, J.; Braz, E.M.Q. & Santos, C.L. (2013). Resíduos sólidos urbanos. Revista Ceciliana, 5(2): 1-4.
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., Janssen, C.R., 2015. Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects. Marine Environmental Research, 111: 5–17.
- Van Dam, A.R., Van Dam, M.H., 2008. Impact of off-road vehicle use on dune endemic Coleoptera. Annual Entomology Society America, 101: 411–417.
- Wang, F.; Shih, K. M.; Li, X. Y. The partition behavior of perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanesulfonamide (FOSA) on microplastics. Chemosphere, v. 119, p. 841-7, 2015.
- Warren, J.H. 1990. The use of open burrows to estimate abundances of intertidal estuarine crabs. Australian Journal of Ecology, 15 (3): 277-280.
- World Wildlife Fund (WWF). 2019. Solving Plastic Pollution through accountability.
- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. Environmental Pollution 178, 483–492.

## CONCLUSÃO GERAL

No que se refere à degradação ambiental nas praias em estudo, observou-se acelerado processo de urbanização, que ocorre de maneira predatória sobre os ecossistemas praiais, caracterizando assim uma ocupação desordenada. Entre os principais representantes dessa ocupação irregular tem-se edificações de alto padrão (condomínios e hotéis) e o surgimento de novos empreendimentos, bares e barracas de praia e alguns traçados viários em locais inadequados. Os mais significativos problemas detectados foram desmatamento em áreas de preservação, a remoção de dunas e paleodunas, a construção de obras de engenharia em locais inadequados e o lançamento de resíduos líquidos e sólidos nas praias, outro fator foi baixas densidades de tocas do caranguejo da espécie *Ocypode quadrata* constatadas por este trabalho pioneiro em algumas praias do litoral do Maranhão , demonstrando que o caranguejo fantasma responde às perturbações antrópicas e servem de alerta quanto aos níveis de vulnerabilidade da mesma, mas aos efeitos reais dos parâmetros de urbanização sobre a sobrevivência do caranguejo fantasma, acredita-se que é necessário avançar ainda mais no conhecimento para propor generalizações robustas e confiáveis.

As intervenções no local de estudo atingiram a cobertura vegetal e o uso da terra, através da retirada de parte da vegetação, transformação do relevo, ligada a construção do sistema viário e posterior implantação de projetos de beneficiamento como a Av. Litorânea, casas, edifícios, condomínios, comércio e bares, ocasionando remoção de dunas, paleodunas e outras feições morfológicas. Diante das condições ambientais das praias em estudo a necessidade de ações preventivas e corretivas (criação de uma unidade gestora, estabelecimento de um plano de gerenciamento costeiro e um sistema de certificação ambiental) pode contribuir para melhoria e conservação ambiental da área em estudo.