



*Avaliação da vulnerabilidade costeira na costa Moçambicana:
Índice de Vulnerabilidade Costeira simplificado*

*Coastal vulnerability assessment for Mozambican coast:
Simplified Coastal Vulnerability Index*

Teodósio das Neves Milisse Nzualo

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Vanilza Flora Silvestre

Universidade Salgado de Oliveira – Universo

Resumo: A vulnerabilidade da costa moçambicana em razão da ocorrência de inundações nos distritos costeiras associados a elevação do nível médio do mar, efeitos da maré meteorológica e a ciclones tropicais, foi examinada usando o Índice de Vulnerabilidade Costeira Simplificado (IVCs). O IVCs é uma simplificação do tradicional índice (IVC) desenvolvido por Gornitz et al. (1994) e modificado por Thieler e Hammar-Klose (1999). No IVCs se correlaciona a densidade de ocupação populacional (População/km) de cada distrito costeiro em toda a extensão da área de estudo (2123 km de linha de costa) com as cotas altimétricas médias de tais microrregiões, a fim de avaliar a fragilidade à inundações devido aos eventos extremos. Os resultados obtidos do IVCs mostram que os distritos costeiros das províncias de Sofala e Zambézia são os mais vulneráveis a danos causados pela incidência de ciclones e inundações. Se constata que a fragilidade potencial a inundações na região litorânea do centro de Moçambique face aos eventos climáticos extremos advêm do fato de as cotas altimétricas serem inferiores a 10,0 m e próximos do nível médio relativo do mar. Outro fator de risco que incide sobre os distritos litorâneos das províncias de Sofala e Zambézia resulta do grande crescimento da densidade populacional (população/km) nos últimos 20 anos (entre 1997 - 2017), sendo superior do que a densidade populacional das províncias de Inhambane e Nampula. A maior pressão populacional nestes distritos contribuirá para que ocorram alterações antrópicas no meio físico e biótico da zona costeira e desse modo agravar a vulnerabilidade dessa região aos eventos extremos.

Palavras chaves: Ciclones tropicais; Nível médio do mar; risco de inundações; vulnerabilidade a erosão da costa moçambicana; Índice de Vulnerabilidade Costeira Simplificado (IVCs).

Abstract: The vulnerability of the Mozambican coast due to the occurrence of floods risks in the coastal districts associated with the future elevation of sea level rise, storm surge flooding and tropical cyclones, was examined using the Simplified Coastal Vulnerability Index (CVIs). IVCs is a simplification of the traditional index (IVC) developed by Gornitz et al. (1994) and modified by Thieler and Hammar-Klose (1999). In the IVCs, the land occupation or population density (Population/ km) of each coastal district over the entire length of the study area (2123 km of coastline) is correlated with coastal altimetry from such districts, with the purpose of evaluating fragility to flood risks due to extreme events. The IVCs highlights that the coastal districts of Sofala and Zambezia provinces are more vulnerable to damage caused by tropical cyclones and storm surge. The central Mozambique is notably fragile by destruction due to extreme climatic events because the coastal altimetry are less than 10, 0 m and is affected by elevation of sea level rise. Another risk factor that affects the coastal districts of the provinces of Sofala and Zambézia results from the great increasing population density (population / km) in the last 20 years (between 1997 - 2017), being higher than the population density of Inhambane and Nampula provinces. The greater population pressure in these districts will contribute to anthropic changes in the physical and biotic environment of the coastal zone, thereby increasing the region's vulnerability to extreme events.

Keywords: Tropical cyclone; Mean sea level; Inundation risk; Mozambique's vulnerability to coastal erosion; Simplified Coastal Vulnerability Index

1. Introdução

A vulnerabilidade à inundações da zona costeira em Moçambique deverá ser agravado pelos efeitos da elevação do nível médio do mar para quase 1,0 m no ano 2100 caso haja um aquecimento global de 1,5°C¹, efeitos da maré meteorológica e de ciclones tropicais. Tal vulnerabilidade está associada às condições de pobreza de grande parte da população residente na zona costeira² e, ao fato desta região litorânea ser caracterizada por extensas áreas com cotas altimétricas médias ou inferiores a 10,0 m em relação ao nível médio das águas do mar³.

O termo *vulnerabilidade* nos dá a ideia da predisposição de algo ser negativamente afetado. Deste modo, a zona costeira, na incidência de ciclones e inundações pode produzir danos mortais,

1 CHEMANE, David, et. al. Vulnerability of coastal resources to climate changes in Mozambique: a call for integrated coastal zone management. *Ocean and Coastal Management*, 37, 1997, (66-83). Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(97\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(97)00073-2); IPCC. *Aquecimento Global de 1,5°C*: Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza. 2019. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_SPM_Portuguese.pdf.

2 Jones, Sam and Tvedten, Inge (2019). What does it mean to be poor? Investigating the qualitative-quantitative divide in Mozambique. *World Development* 117 (2019) 153–166. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.01.005>.

3 ASANTE, K. et. al. Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique. *International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)*, 2016 (Last Modified). Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/9007>.

desalojar pessoas de suas áreas de habitação, destruir bens econômicos diversos, produzir e agravar erosões costeiras, etc. O IPCC⁴ define vulnerabilidade em função de três aspectos: *exposição*, *sensibilidade* e, *capacidade adaptativa*.

Exposição: os indicadores de exposição climática incluem aumento de temperatura, chuva forte, seca e aumento do nível do mar. *Sensibilidade*: o grau de sensibilidade de um sistema aos riscos climáticos depende não apenas das condições geográficas, mas também de fatores socioeconômicos, como população e infraestrutura. *Capacidade adaptativa*: Esta descreve a capacidade de um sistema de lidar com extremos climáticos. A capacidade adaptativa às mudanças climáticas depende de recursos físicos como – capacidade institucional dos governos em lidar com o fenômeno, acesso à tecnologia e informação pelas populações em áreas de risco e, existência de uma variedade de infraestrutura resiliente aos impactos desses eventos.

A problemática das mudanças climáticas e seus impactos sobre as populações e a biodiversidade na zona costeira de Moçambique tem ganho maior relevância entre governantes e pesquisadores, em consequência da observação do aumento da frequência e intensidade dos ciclones e tempestades tropicais⁵.

A fragilidade das populações que vivem nas zonas costeiras em Moçambique face aos ciclones é substancialmente grande quando se compara com a fragilidade das populações dos países costeiros da região sudeste de África. Por exemplo, a devastação causada pelo ciclone Idai que atingiu Moçambique em 2019 superou em 107 % no número de mortes e em 900 % com o número de afetados, do que o deixado pelo ciclone Galifo que atingiu Madagascar em 2004, embora o Idai tenha sido menos intenso em rajadas de vento (205 km/h) do que o ciclone Galifo (260 km/h)⁶ (Figura 1 e Figura 2).

4 IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014, (1-32). Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_en-1.pdf; Idem, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>.

5 MAVUME, Alberto F., et al. Climatology and Landfall of Tropical Cyclones in the South - West Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 8(1), 2009, (19-39). Disponível em: <http://doi.org/10.4314/wiojms.v8i1.56672>; MATYAS, Corene J. Tropical cyclone formation and motion in the Mozambique Channel. *International Journal of Climatology*, 35, 2015, (375-390). <http://doi.org/10.1002/joc.3985>; BIÉ, Alberto J., et. al. Numerical modeling of storm surges in the coast of Mozambique: the cases of tropical cyclones Bonita (1996) and Lisette (1997). *Ocean Dynamics*, 67, 2017, (1443-1459); CCPI, Climate Change Performance Index. *Results 2020*. Germanwatch, NewClimate Institute & Climate Action Network: 2019. Disponível em: https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/12/CCPI-2020-Results_Web_Version.pdf.

6 WARREN, Matthew. Why Cyclone Idai is one of the Southern Hemisphere's most devastating storms. *Nature research journal*, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-00981-6>.

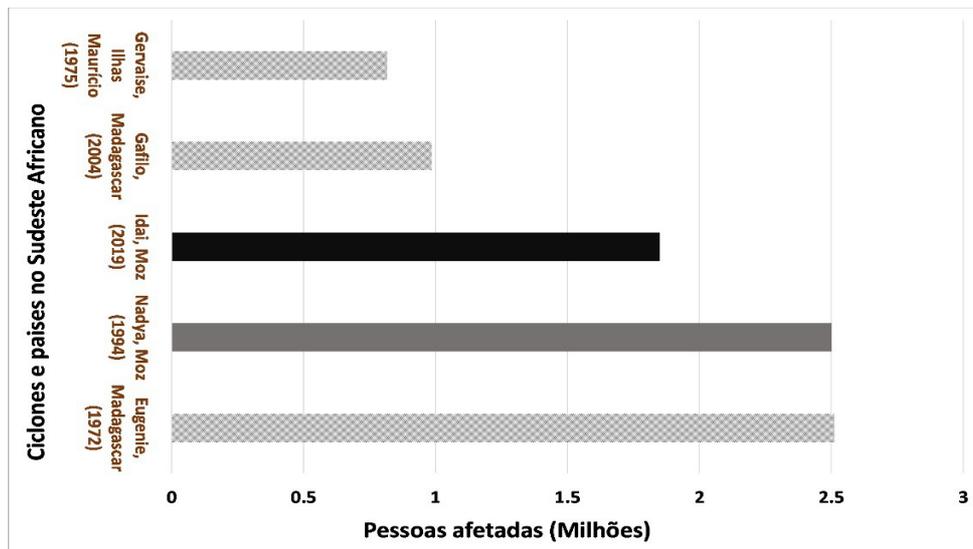


Figura 1. Histograma caracterizando as pessoas afetadas pelos ciclones tropicais ocorridos no sudoeste do Oceano Índico entre 1972 – 2019. O histograma de barras totalmente preenchido pela cor preta representa as pessoas afetadas pelo ciclone Idai em Moçambique no ano de 2019. Outro ciclone que afetou a região centro de Moçambique foi o Nadya, que ocorreu em 2004, identificado pelo histograma preenchido de cor cinza. Os ciclones que afetaram os países vizinhos foram representados pelos histogramas em faixas diagonais de cor preta. **Fonte:** Em-Dat: Banco de Dados Internacional de Desastres da OFDA / CRED; Universidade Católica de Louvain, Bruxelas e publicado pela Nature research journal (2019).

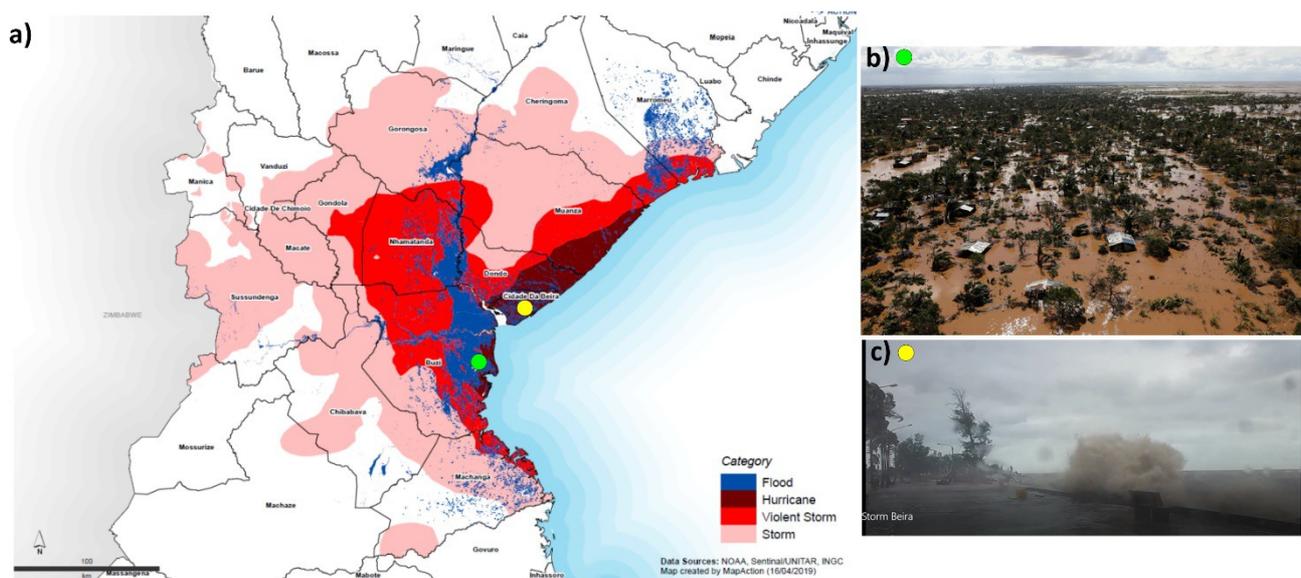


Figura 2. (a) Área de impacto do ciclone Idai na província de Sofala em 16/04/2019. O ponto verde representa o distrito rural de Búzi e o ponto em amarelo, a região metropolitana da cidade da Beira. **Fonte:** NOAA, Sentinel/UNITAR, INGC (2019). **(b)** Inundações decorrentes do ciclone Idai afetando o distrito rural do Búzi na província de Sofala. Imagem de em 21 de março de 2019. **Fonte:** Siphwe Sibeko / Reuters. **(c)** Ressaca na avenida das FPLM na região metropolitana da cidade da Beira em consequência do ciclone Idai.

A maré meteorológica (ou *storm surge*), responsável pelas inundações em zonas costeiras é caracterizada por uma elevação anormal do nível médio da água do mar gerados por ciclones

tropicais e extratropicais e, usualmente com períodos maiores do que a maré astronômica (que variam de várias horas a poucos dias)⁷.

Needham e Keim⁸, no artigo intitulado “*Storm surge: Processos físicos e escala de impacto*” discutem a necessidade de compreender os processos físicos que geram os ciclones tropicais. Estes ciclones geralmente ocorrem nos meses de verão, em regiões oceânicas tropicais e subtropicais onde a temperatura da superfície do mar (TSM) excede os 26 °C⁹ e, geralmente na Zona de Convergência Intertropical (ITCZ), ou ainda a sua manifestação regional, como na Zona de Convergência do Pacífico Sul (SPCZ)¹⁰.

Os ciclones tropicais são classificados de acordo com o vento máximo em superfície e/ou pressão mínima no seu centro. Uma classificação usada no meio científico e empregue por Mavume et al.¹¹ para o Oceano Índico é a escala de Saffir-Simpson¹² (Tabela 1).

Tabela 1. Escala de Saffir-Simpson usada para classificação de ciclones tropicais e furacões.

Sistema	Categoria	Pressão	Vento máximo sustentado		Poder de destruição
		mínima (hPa)	(média de 1-minuto) ms ⁻¹	nós	
Depre. Tropical	TD	-	≤17	≤34	-
Temp. Tropical	TS	-	18 – 32	34 – 63	-
Furacão	1	>980	33 – 42	64 – 83	Mínimo
Furacão	2	979 – 965	43 – 49	84 – 95	Moderado
Furacão	3	964 – 945	50 – 58	96 – 113	Extenso
Furacão	4	944 – 920	59 – 69	114 – 135	Extremo
Furacão	5	<920	>69	>135	Catastrófico

7 PUGH, David T. Tides, surges and mean sea-level. Chichester, UK: John Wiley & Sons. 1987. Disponível em: [http://doi.org/10.1016/0264-8172\(88\)90013-X](http://doi.org/10.1016/0264-8172(88)90013-X); NEEDHAM, Hal; KEIM, Barry D. Storm Surge: physical processes and an impact Scale. LUPU, Anthony (Org.). Recent Hurricane Research: climate, dynamics, and societal impacts. Croatia: Intech Open, 2011, (385-406). Disponível em: DOI: 10.5772/15925; World Meteorological Organization – WMO. Guide to Storm Surge Forecasting. WMO-No. 1076, Geneva, 2011. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7747.

8 NEEDHAM, Hal; KEIM, Barry D., op.cit.

9 ALI, A. Vulnerability of Bangladesh to climate change and sea level rise through tropical cyclones and storm surges. Water, Air, and Soil Pollution, 92, 1996, (171-179). <https://doi.org/10.1007/BF00175563>; HOLLAND, Greg J. The maximum potential intensity of tropical cyclones. Journal of the Atmospheric Sciences, 54, 1997, (2519-2541). Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<2519:TMPIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<2519:TMPIOT>2.0.CO;2); GRAY, W. M. The formation of tropical cyclones. Meteorology and Atmospheric Physics, 67, 1998, (37-69). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01277501>.

10 De SCALLY, Fes A. Historical tropical cyclone activity and impacts in the Cook Islands. *Pacific Science*, 62(4), 2008, (443-459). Disponível em: [https://doi.org/10.2984/1534-6188\(2008\)62\[443:HTCAAJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2984/1534-6188(2008)62[443:HTCAAJ]2.0.CO;2).

11 MAVUME, Alberto F., et al. Climatology and Landfall of Tropical Cyclones in the South - West Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 8(1), 2009, (19-39). Disponível em: <http://doi.org/10.4314/wiojms.v8i1.56672>

12 SAFFIR, H. S. Florida's approach to hurricane-resistant design and construction. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 44, 1989, (1041-1052).

Estudos sobre a ocorrência de ciclones tropicais e tempestades tropicais que se formam no sudoeste do Oceano Índico e atingem a zona costeira moçambicana são discutidos por autores como Mavume et. al.¹³; Theron e Barwell¹⁴; Matyas¹⁵; e Bié et. al.¹⁶.

Bié et. al.¹⁷ apontam para a necessidade de se realizar estudos específicos sobre as marés meteorológicas na costa moçambicana, que é um fenômeno importante para avaliar de forma quantitativa a extensão e amplitude de inundação de cidades, vilas e municípios costeiros. Tal necessidade é reforçada quando se constata que existe uma extensa literatura sobre o canal de Moçambique que se dedica a estudar a circulação oceânica, ora sobre o método observacional¹⁸, ora por recurso a modelagem numérica¹⁹.

Um relevante estudo sobre a geração e aproximação de ciclones tropicais no sudoeste do Oceano Índico realizado por Mavume et. al.²⁰, assegura que se formaram durante o período de 1980 – 2007, uma média de 12,5 ciclones tropicais por ano. Os ciclones nesta região decorrem entre os meses de Novembro – Abril. Estes autores anunciam também que, no Canal de Moçambique, a média é de 2,3 ciclones tropicais por ano. Os ciclones que surgem no sudoeste do Oceano Índico, correspondem a 14 % dos ciclones tropicais ocorrentes a nível global²¹.

13 MAVUME, Alberto F., et al., *op.cit.*

14 THERON, André; BARWELL, Laurie. Responding to climate change in Mozambique: Theme 2: Coastal planning and adaptation to mitigate climate change impacts. *Stellenbosch: CSIR*. 2012.

15 MATYAS, Corene J. Tropical cyclone formation and motion in the Mozambique Channel. *International Journal of Climatology*, 35, 2015, (375-390). <http://doi.org/10.1002/joc.3985>.

16 BIÉ, Alberto J., et. al. Numerical modeling of storm surges in the coast of Mozambique: the cases of tropical cyclones Bonita (1996) and Lisette (1997). *Ocean Dynamics*, 67, 2017, (1443-1459).

17 *Ibid.*

18 SAETRE, Roald; SILVA, António Jorge da. Water masses and circulation on the Mozambique channel. *Revista de Investigação Pesqueira*, 3, 1982, (1-83). Disponível em: <http://aquaticcommons.org/id/eprint/17106>; De RUIJTER,

Wilhelmus P. M., et. al. Observations of the flow in the Mozambique Channel. *Geophysical Research Letters*, 29(10), 2002, (3-5). Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2001GL013714>; RIDDERINKHOF, Herman; DE

RUIJTER, Wilhelmus P. M. Moored current observations in the Mozambique Channel. *Deep-Sea Research II*, 50, 2003, (1933-1955). [http://doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00041-9](http://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00041-9); HANCKE, Lisa, et. al. Surface drifter

trajectories highlight flow pathways in the Mozambique Channel. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 2014, (27–37). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.10.014>.

19 SEGTNAN, Ole. Simulating the circulation in the Mozambique Channel by use of a numerical ocean model. Master Thesis (Master Thesis in Physical Oceanography). University of Bergen, Bergen, 2006. Disponível em:

<http://hdl.handle.net/1956/1495>; BACKEBERG, B. C.; REASON, C. J. C. A connection between the South Equatorial Current north of Madagascar and Mozambique Channel Eddies. *Geophysical Research Letters*, 37, L04604,

2010, (1-6). Disponível em: <http://doi.org/10.1029/2009GL041950>; HALO, Issufo, et. al. Deep-Sea Research II Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation

models. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 2014, (38-53). Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.10.015>; THIÉBLEMONT, Antoine, et. al. Contourite depositional systems along the

Mozambique channel: The interplay between bottom currents and sedimentary processes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 147, 2019, (79-99). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.03.012>.

20 MAVUME, Alberto F., et al. Climatology and Landfall of Tropical Cyclones in the South - West Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 8(1), 2009, (19-39). Disponível em: <http://doi.org/10.4314/wiojms.v8i1.56672>

Níveis extremos do mar, causados por ciclones tropicais e tempestades que geram inundações costeiras na costa moçambicana podem ser obtidos através dos estudos de Muis et. al.²² e Bié et. al.²³. A pesquisa realizada por Muis et. al.²⁴ usa a modelagem de reanálise, implementado em grade global de marés meteorológicas e níveis extremos. Este estudo obteve valores de níveis extremos do mar que variam entre 1,5 a 3,5 m para um período de retorno de 100 anos para o sudoeste do Índico e, para a região central da costa de Moçambique de quase 2,0 m. Bié et. al.²⁵ consideram que os resultados da maré meteorológica indicam valores próximos a 1,0 m para o caso particular da costa moçambicana no período de retorno de 50 anos. Tal estudo foi desenvolvido com base em modelagem numérica com o modelo *Princeton Ocean Model* (POM).

Os dois estudos divergem nos valores da maré meteorológica estimados para a costa moçambicana, resultante da ocorrência de ciclones. No entanto, o resultado encontrado no trabalho de Bié et al.²⁶ deve estar mais próximo do valor médio da elevação do nível do mar que os ciclones produzem na costa. A calibração entre os residuais das séries medidas nas regiões costeiras e da maré meteorológica modelada mostraram uma boa concordância, ou seja, a raiz do erro médio quadrático (RMSE) foi inferior a 0,1 m e os valores de índice de concordância ou *Skill*, superiores a 0,5 m. Este estudo igualmente medita sobre as limitações na modelagem associadas a grade do modelo e as condições de contorno.

Neumann et. al.²⁷ estudaram o risco anual na redução do PIB ocasionados por ciclones e pela elevação do nível do mar até 2050 em duas cidades portuárias moçambicanas, nomeadamente, Beira e Maputo. Os resultados deste estudo mostram que perdas maiores vão ocorrer na cidade de Maputo em razão da incidência de ciclones de maior intensidade comparativamente a cidade da Beira, onde se espera uma maior frequência destes eventos extremos (Tabela 2).

21 JURY, Mark R. A preliminary study of climatological associations and characteristics of tropical cyclones in the SW Indian Ocean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 51, 1993, (101-115). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01080882>.

22 MUIS, Sanne, et. al. A global reanalysis of storm surges and extreme sea levels. *Nature Communications*, 7, 11969, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.1038/ncomms11969>.

23 BIÉ, Alberto J., et. al. Numerical modeling of storm surges in the coast of Mozambique: the cases of tropical cyclones Bonita (1996) and Lisette (1997). *Ocean Dynamics*, 67, 2017, (1443-1459).

24 MUIS, Sanne, et. al. *op.cit.*

25 BIÉ, Alberto J., et. al. *op.cit.*

26 BIÉ, Alberto J., et. al. Numerical modeling of storm surges in the coast of Mozambique: the cases of tropical cyclones Bonita (1996) and Lisette (1997). *Ocean Dynamics*, 67, 2017, (1443-1459).

27 NEUMANN, James et. al. (2013). Assessing the risk of cyclone-induced storm surge and sea level rise in Mozambique. *WIDER Working Paper*, 036, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/80986>.

Tabela 2. Risco anual de redução do PIB em Moçambique devido ao aumento do nível médio do mar e ao aumento de tempestades até 2050. **Fonte:** Neumann et al. (2013).

Área de estudo	PIB anual devido ao risco da elevação do NM (US \$ 2010 milhão)	% do PIB total dentro da área de estudo	PIB anual devido ao risco de ciclones (US \$ 2010 milhão)	% do PIB total dentro da área de estudo
Beira	US\$ 3.9	0.40 %	US\$ 7.0	0.80 %
Maputo	US\$ 18	0.70 %	US\$ 30	1.10 %

Os estudos discutidos mostram que os ciclones tropicais incidem regularmente o território moçambicano sobre as províncias de Nampula no Norte à Inhambane no Sul. A vulnerabilidade climática destas províncias, seus distritos, cidades e vilas soma-se a outros fatores tais como:

1. Crescente ocupação da zona costeira, observados nos censos de 1997, 2007 e 2017 e, publicados pelo Instituto Nacional de Estatística de Moçambique (INE).
2. Problemas da erosão costeira agravados por obras de engenharia diversa, sobretudo em áreas urbanas, que nitidamente desequilibram o balanço sedimentar.

A estimação da vulnerabilidade que um sistema socioeconômico e ambiental sofre face às mudanças climáticas é amplamente realizada na pesquisa interdisciplinar com base no cálculo de índices. Os fatos socioeconômicos podem ser contemplados, por exemplo: herança cultural e densidade populacional, bem como causas ambientais relativas à erosão costeira que atendem questões geomorfológicas, tais como: variação do nível médio do mar, amplitude de maré, altura de ondas e outros.

No que se refere às causas ambientais, o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC), que foi desenvolvido por Gornitz et. al.²⁸ é largamente usado na literatura. Thieler e Hammar-Klose²⁹ modificaram o IVC reduzindo o número de variáveis para ser mais eficaz e aplicável. O IVC utiliza seis variáveis para avaliar a sensibilidade de uma região costeira, a saber: a variação da linha de costa; a geomorfologia; a declividade da costa; a variação da maré; altura de ondas; e cenários de elevação do nível do mar.

O presente trabalho usa uma modificação do índice IVC, simplificando o problema e considerando dois fatores: a densidade populacional nos distritos costeiros da costa moçambicana nos censos de 1997 e 2017 e a cota média dos distritos costeiros. A metodologia IVCs (Índice de

28 GORNITZ V.M., et. al. The development of coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the US southeast. *J Coast Res.* 12, 1994, (327-338).

29 THIELER, E. Robert; Hammar-Klose Erika S. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise, US Atlantic coast. Open-File Report. 99(593), 1999.

Vulnerabilidade Costeira Simplificado) se justifica em relação ao método tradicional IVC, pelo fato de se estudar uma região extensa da linha da costa, com 2.123 km, e com escassez de parâmetros: geomorfológicos e oceanográficos (variação da maré; altura de ondas) validados. No entanto, o índice proposto neste trabalho inclui uma variável socioeconômica de capital importância, que é expresso pelo indicador demográfico sobre o meio físico, dando avultada relevância aos resultados encontrados.

Área de estudo

Moçambique localiza-se na costa oriental de África (Figura 3), entre as Latitudes 10°27'S e 26°52'S e Longitudes 30°12' E e 40°51'E³⁰, sendo delimitado pela Tanzânia no norte, pelo Malawi, Zâmbia, Zimbábue, África do Sul e Suazilândia a oeste e pelo Oceano Índico a leste, possuindo uma área equivalente a 783.000 km², no qual 4.500 km² é marinha³¹.

A linha de costa moçambicana tem 2.770 km de comprimento; a plataforma continental até a isóbata de 200 m tem uma área em torno de 104 km². Do ponto de vista fisiográfico, existem três bancos importantes sobre a costa, a saber: a Baía de Delagoa no sul, o Banco de Sofala no centro e o Banco de São Lázaro no norte³².

A região afetada frequentemente pelos ciclones tropicais e que foi análise do presente estudo, compreende a linha de costa entre as latitudes 24°51'30.96"S e longitudes 34°29'32.76"E, distrito de Zavala na Província de Inhambane e, as latitudes 13°30'48.06"S e longitudes 40°31'29.46"E, no distrito de Memba na Província de Nampula, no Norte de Moçambique. Na Figura 1 se evidenciam as 4 províncias comumente afetadas pelos eventos extremos, que foram representados pelos algarismos romanos I – Inhambane; II – Sofala; III – Zambézia e, IV – Nampula.

30 CHEMANE, David, et. al. Vulnerability of coastal resources to climate changes in Mozambique: a call for integrated coastal zone management. *Ocean and Coastal Management*, 37, 1997, (66-83). Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(97\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(97)00073-2).

31 HOGUANE, Antônio M. Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1), 2007, (69-82). Disponível em: https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7_8_Hoguane.pdf.

32 *Ibid.*



Figura 3. Mapa de Moçambique, onde a linha vermelha representa a linha de costa onde estão os distritos costeiros que com frequência têm sido afetados pelos ciclones tropicas e extratropicais. Os contornos em azul e os números em algarismos romanos apontam as províncias em que tais distritos estão inseridos. **Fonte:** Adaptado de United Nations (2016).

As províncias litorâneas de Inhambane e Sofala e seus respectivos distritos costeiros são apresentados na Figura 4. Na Figura 5 são realçadas os distritos costeiros das províncias da Zambézia e Nampula.

A província de Inhambane possui uma linha de costa de aproximadamente 700 km, nos quais estão inseridos 10 distritos costeiros, nominalmente de sul a norte: Zavala, Inharrime, Jangamo, Cidade de Inhambane, Maxixe, Morrumbene, Massinga, Vilankulo, Inhassoro e Govuro.

A linha de costa da província de Sofala contém 410 km e 7 distritos, designadamente: Machanga, Búzi, Cidade da Beira, Dondo, Muanza, Cheringoma e Marroneu.

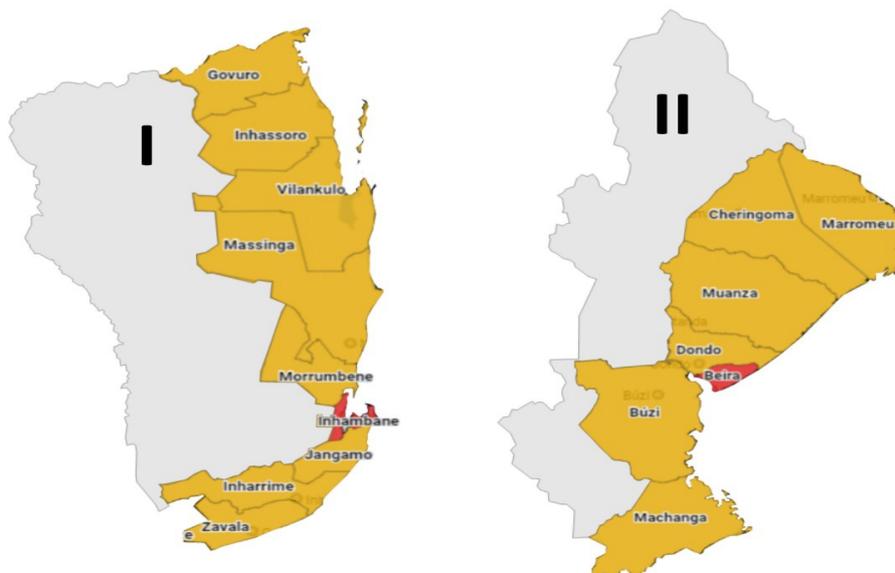


Figura 4. Mapa das províncias de Inhambane e Sofala, representadas pelos algarismos romanos I e II respectivamente. Os distritos costeiros são indicados na região amarela dos mapas. As regiões de maior densidade populacional são evidenciados em vermelho, para as cidades de Inhambane e Maxixe na Província de Inhambane e, para a cidade da Beira na província de Sofala.

A linha de costa mais curta das 4 estudadas é a da província da Zambézia, que dispõe de somente 368 km, embora também tenha 7 distritos costeiros à semelhança da província de Sofala. Seus distritos costeiros de sul a norte são: Chinde, Inhassunge, Cidade Quelimane, Nicoadala, Namacurra, Maganja da Costa, Mocubela e Pebane.

A província de Nampula tem a segunda linha de costa mais longa com 645 km de comprimento nos quais estão inseridos 10 distritos costeiros. Tais distritos de sul a norte são: Moma, Larde, Angoche, Liúpo, Mongiquial, Ilha de Moçambique, Mussuril, Nacala, Nacala Velha e Memba.



Figura 5. Mapa das províncias da Zambézia e Nampula, representadas pelos algarismos romanos III e IV respectivamente. Os distritos costeiros são indicados na região amarela dos mapas. As regiões de maior densidade populacional são evidenciadas em vermelho, para a cidade de Quelimane na Província da Zambézia e Ilha de Moçambique e Nacala Porto na Província de Nampula.

Geologia e geomorfologia

A era geológica que caracteriza os depósitos sedimentares da costa moçambicana é Pré-Cambriano, encontrada na bacia da região sul e centro do país, sendo que a bacia do Rovuma, na região norte, é constituída por depósitos continentais e marinhos da era mezo-Cenozoica, com idade entre o Cretáceo e o meia-Plioceno³³. A bacia do Rovuma situa-se entre o rio Lúrio até ao rio Rovuma, na Província de Cabo Delgado.

A costa moçambicana é constituída por três zonas hidrogeológicas distintas:

- i. A linha da costa na zona sul caracterizada por extensões intermitentes de praias arenosas, dunas recentes e lagoas e baías costeiras;
- ii. A costa da zona centro é caracterizada por extensas e densas áreas de vegetação e pântanos de mangal e, finalmente;
- iii. A costa norte caracterizada por praias rochosas e ilhas.

Oceanografia

A maré astronômica em Moçambique é maior na região centro, na qual compreende o Banco de Sofala e o estuário da Beira, onde a altura média da maré é de 6,0 m no período de sizígia³⁴. É designado por “*Banco de Sofala*” ao corpo de água situado no canal de Moçambique entre as latitudes 16° e 21° S, caracterizado por uma extensa região do fundo marinho com profundidades médias de 20,0 m e localizado da costa até 80 milhas náuticas no talude continental. A maré decresce nas zonas sul e norte do país, onde a altura média é de 3,0 m na sizígia³⁵.

33 KAIRU, Kuria; NYANDWI, Ntahondi (orgs). *Guidelines for the study of shoreline change in the Western Indian Ocean region*. IOC manual and guide no. 40 UNESCO, Paris, 2000. Disponível em: <file:///C:/Users/vaflo/Downloads/335464.pdf>.

34 NZUALO, Teodósio N. M., et. al. Short-term tidal asymmetry inversion in a macrotidal estuary (Beira, Mozambique). *Geomorphology*, 308, 2018, (107–117). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.029>.

35 HOGUANE, António M. Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1), 2007, (69-82). Disponível em: https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7_8_Hoguane.pdf.

Não há nenhum registo de medição sistemática de ondas no mar produzidas pelo vento em toda a costa de Moçambique. No entanto, existem medições de onda realizadas em algumas das principais cidades costeiras com finalidade de elaboração de obras de engenharia.

O clima em Moçambique é tropical úmido com duas estações distintas: a estação seca ou de inverno e a estação chuvosa ou de verão. A temperatura média anual do ar atmosférico é da ordem de 23° C e 26° C, nas zonas costeiras da região sul e norte, respectivamente. A precipitação média anual é de cerca de 1200 mm³⁶.

Os ventos na região norte de Moçambique são influenciados pelo sistema de monções com ventos de NE durante o verão e, ventos de SW durante o inverno. As regiões centro e sul de Moçambique são dominados por ventos alísios de SE³⁷.

Metodologia

O Índice de Vulnerabilidade Costeira Simplificado (IVCs) correlaciona a densidade de ocupação populacional (População/km) de cada distrito costeiro em toda a extensão da área de estudo (2123 km de linha de costa) com as cotas altimétricas médias de tais microrregiões.

O estudo foi realizado tendo em consideração os censos populacionais de 1997, 2007 e 2017 realizados pelo INE com o propósito de prover aos usuários informação estatística sobre população, habitação e características sócio-demográficas. Desta forma, se sistematizou por distritos costeiros a população que habita tais regiões e, que estão mais sujeitas a incidência de frequentes ciclones tropicais em Moçambique.

A extensão da linha de costa dos distritos costeiros ao longo da região de estudo foi obtida dos relatórios de avaliação ambiental nessas jurisdições territoriais, produzidos pela empresa de consultoria IMPACTO que tem realizado estudos para o Governo Moçambicano. Os estudos têm como título: Projecto de Avaliação Ambiental Estratégica da Zona Costeira – Moçambique, Perfil Ambiental e Mapeamento do uso Actual da Terra nos Distritos da Zona Costeira de Moçambique. Nas microrregiões onde os estudos não foram realizados ou seus relatórios não estão disponíveis para consulta pública, a linha de costa foi calculada através da ferramenta de aferição do *Google Earth*.

³⁶ *Ibid.*

³⁷ SETE, Cândida, et. al. Seasonal Variation of Tides, Currents, Salinity and Temperature along the Coast of Mozambique. *UNESCO (IOC) – ODINAFRICA*, 2002, (01-72).

A fim de caracterizar o grau de ocupação da zona costeira, para cada microrregião de estudo, contabilizou-se a população residente naqueles municípios costeiros, definindo-se um parâmetro – “população por quilômetro de linha de costa” (PLC) – que representa a razão entre a população e a extensão da linha de costa da microrregião. Assim, obteve-se um critério objetivo para hierarquizar os trechos de costa onde os impactos das mudanças climáticas seriam potencialmente mais danosos, a partir do pressuposto de que, quanto maior a concentração populacional, maior a diversidade de atividades econômicas.

O outro parâmetro definido neste trabalho foi a altimetria média da microrregião costeira em relação ao nível médio do mar. As altimetrias médias foram estimadas com base no modelo digital do terreno dos relatórios de avaliação ambiental produzidos pela empresa IMPACTO e também pelo *Google Earth*.

O valor da altimetria foi extraído dentro da região fisiográfica terrestre de 50 km de largura a partir da linha de costa, inserida na Zona Costeira (Figura 6).

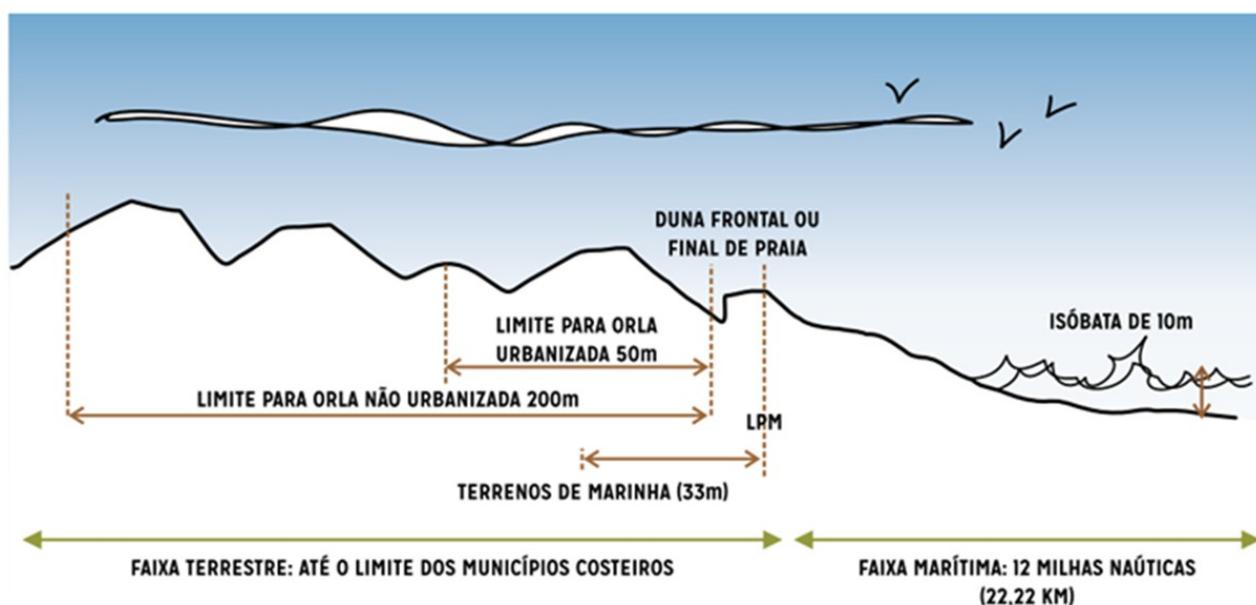


Figura 6. Delimitação da Zona Costeira (setas verdes), definida pela faixa marítima de 12 náuticas de largura (mar territorial) e uma faixa terrestre com 50 km de largura. **Fonte:** MMA (2018).

3. Resultados e discussão

A Figura 7 revela a distribuição geográfica da população que vive na zona costeira de Moçambique em 1997, através do histograma de cor azul e, em 2017, através do histograma de cor cinza. Nesta Figura se pode constatar que, para além de, em 20 anos ter ocorrido um grande

crescimento populacional, a sua ocupação ao longo da zona costeira é bastante irregular, com fortes concentrações nas cidades da Beira em Sofala e Quelimane na Zambézia. Grandes aglomerados populacionais também são vistos nos distritos de Moma, Angoche, Nacala e Memba em Nampula, com aproximadamente 300.000 pessoas ou mais, com base no censo populacional do INE de 2017.

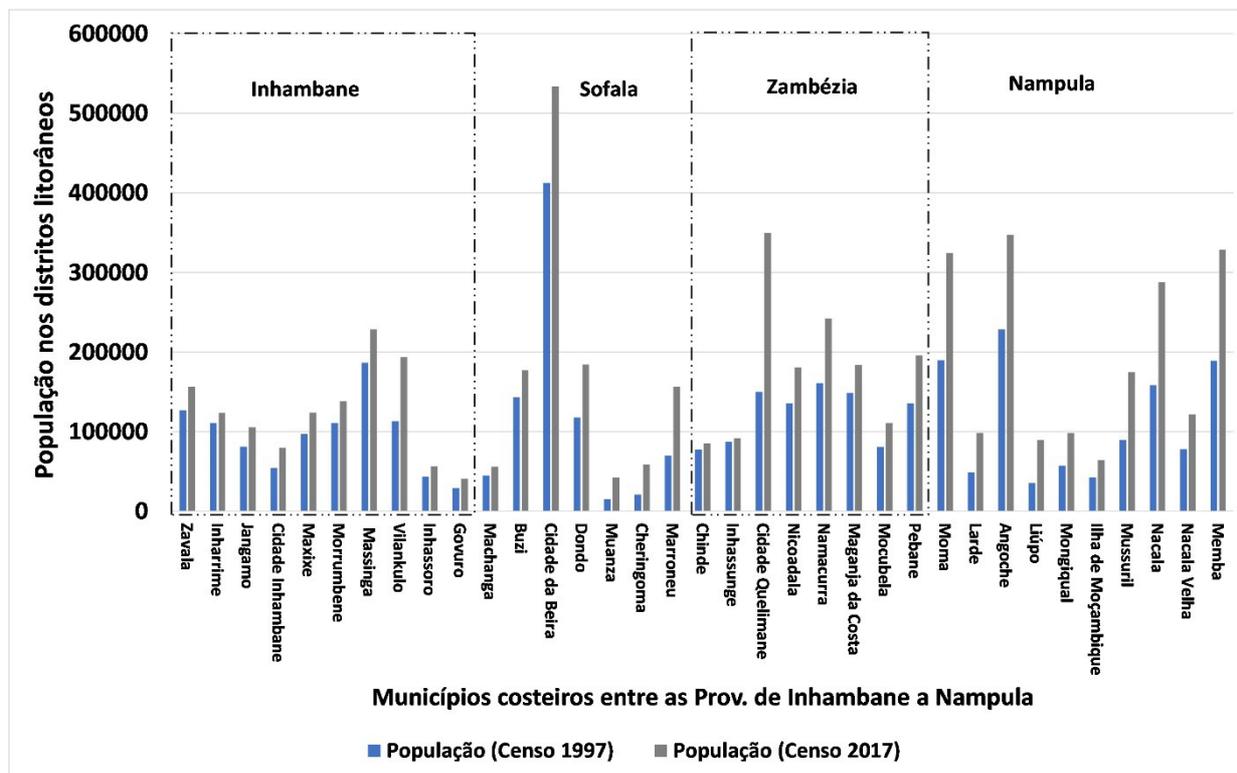


Figura 7. Representação da população de cada distrito litorâneo na região de estudo, entre as províncias de Inhambane a Nampula com base nos resultados dos censos populacionais de 1997 e 2017, elaborados pelo Instituto Nacional de Estatística de Moçambique – INE. O histograma de barras preenchido pela cor Azul representa a população de cada distrito litorâneo, entre as províncias de Inhambane a Nampula com base nos resultados dos censos populacionais de 1997. O histograma de barras preenchido pela cor cinza representa a população de cada distrito litorâneo, entre as províncias de Inhambane a Nampula com base nos resultados dos censos populacionais de 2017.

3.1. Indicadores de vulnerabilidade a erosão costeira

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 se correlacionam os valores do percentual resultante do crescimento demográfico entre os censos dos anos de 1997 a 2017 em cada distrito litorâneo de cada província em estudo (representado pelos pontos pretos) e a sua extensão da linha de costa, retratado pelo histograma de barras de cor azul. A linha de cor laranja destaca a comparação entre os valores percentuais do crescimento populacional entre os distritos costeiros em cada província.

Na província de Inhambane e, nas cidades de Inhambane e de Vilankulos se constatou um crescimento populacional próximo de 50 % ou superior, em 2017 em relação ao ano de 1997. No entanto, ao relacionarmos esse aumento populacional com as suas longas extensões de linha de costa, i.e., de 100 e 150 km, se pode especular que eventualmente a exploração do meio físico e biológico ainda se encontrem dentro dos limites aceitáveis. Todavia, para que se faça uma conclusão mais assertiva é necessário a realização de estudos específicos sobre a pressão do ecossistema face ao aumento populacional nesses distritos (Figura 8).

Um cenário diferente ao descrito para as cidades acima se observa para os distritos costeiros de Jangamo, Morrumbene, Inhassoro e Govuro. Nestes distritos se verifica que o aumento populacional ocorrido em 2017 em relação ao de 1997, impõe uma pressão considerável sobre o meio físico e biológico, partindo do pressuposto de que estes possuem uma linha de costa curta, que varia entre 30 a 60 km (Figura 8).

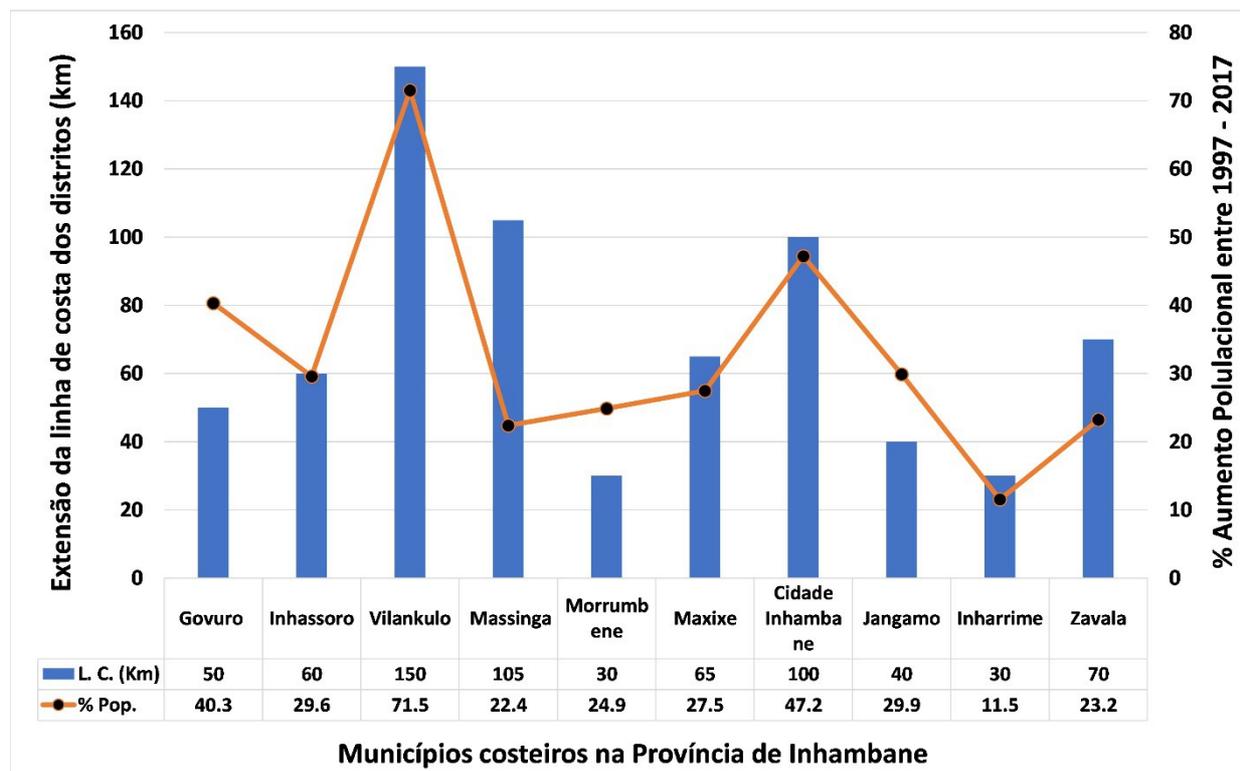


Figura 8. Correlação entre o valor percentual do crescimento demográfico ocorrido entre os anos de 1997 a 2017 em cada distrito litorâneo da província de Inhambane (pontos pretos) e a sua extensão da linha de costa. O histograma de barras de cor azul representa a extensão em quilômetros da linha de costa de cada um dos distritos litorâneos na província de Inhambane. A linha de cor laranja destaca a comparação entre os valores percentuais do crescimento populacional nos 10 distritos costeiro da província de Inhambane.

Na correlação entre os valores do percentual de crescimento demográfico obtidos dos censos de 1997 e 2017 para cada distrito litorâneo da província de Sofala, com as respectivas extensões da linha de costa, se aprecia um expressivo aumento da pressão sobre o meio físico e biológico nos distritos de Muanza, Cheringoma e Marroneu. Nestes distritos de natureza mormente rural, a população cresceu acima de 100% no ano de 2017 em relação ao ano de 1997. Também se atenta que o comprimento destes distritos, que variam entre 22 a 60 km, são relativamente pequenos em relação ao aumento da população (Figura 9).

No distrito de Dondo, de característica igualmente rural, a população cresceu em 56,7 % em 2017 em comparação ao ano de 1997 e, também se observa um pressão sobre o meio físico e biológico (Figura 9). Para o entedimento do nível de degradação dos ecossistemas com o aumento da população é necessário a realização estudos específicos.

Para a cidade da Beira, capital da província, embora a população tenha aumentado em 29,4 % em 2017 relação ao censo de 1997, a zona costeira não sofre uma grande pressão no ecossistema comparativamente aos distritos acima mencionados (Figura 9).

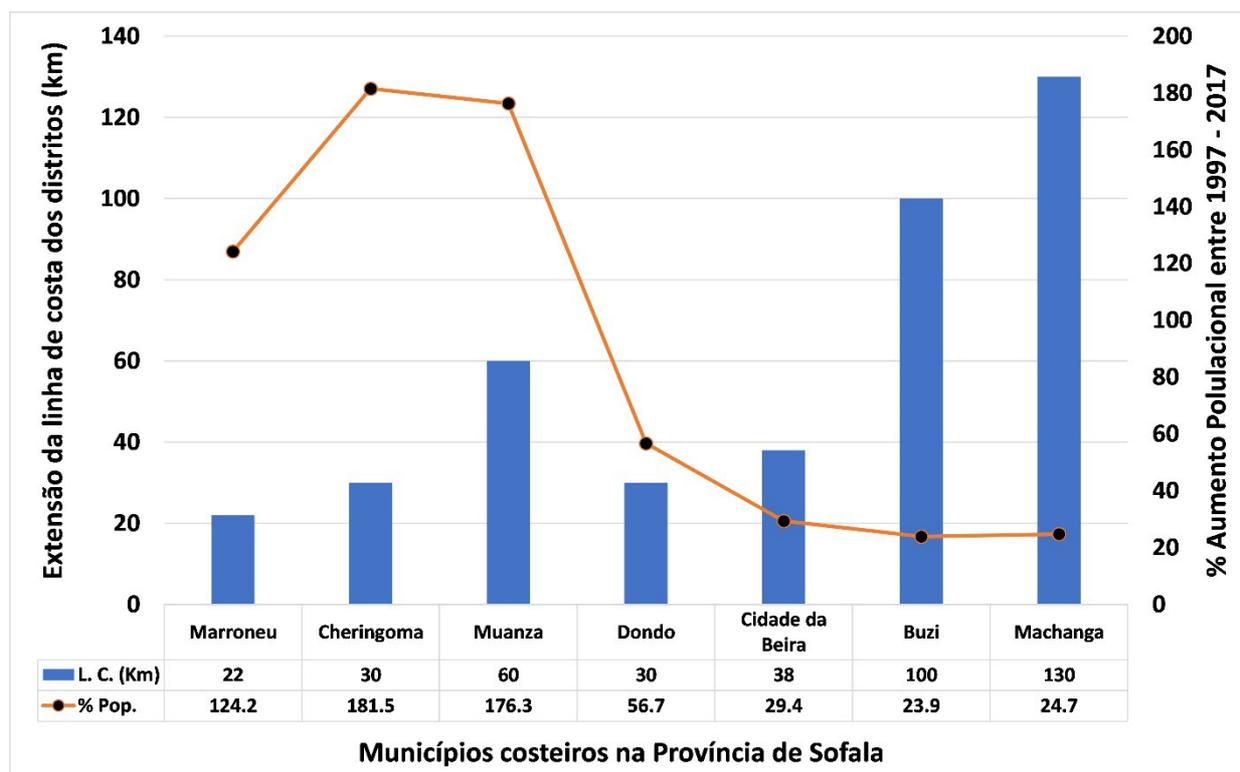


Figura 9. Correlação entre o valor percentual do crescimento demográfico ocorrido entre os anos de 1997 a 2017 em cada distrito litorâneo da província de Sofala (pontos pretos) e a sua extensão da linha de costa. O histograma de barras de cor azul representa a extensão em quilômetros da linha de costa de cada um dos distritos litorâneos na província de Inhambane. A linha de cor laranja destaca a comparação entre os valores percentuais do crescimento populacional nos 7 distritos costeiro da província de Sofala.

A Figura 10 mostra que para o caso da província da Zambézia, a cidade de Quelimane teve um aumento populacional de 133 % no ano de 2017 em relação ao ano de 1997 e, tendo em contrapartida uma linha de costa muito pequena, de somente 13 km, estabelece uma gigantesca pressão sobre o meio físico e biológico.

No sentido oposto, os distritos de Chinde e Inhassunge representam aqueles onde o aumento populacional não apresentam ainda uma ameaça para o ecossistema (Figura 10). Logo, as razões para a baixa pressão ao ecossistema na zona costeira é diferentes para estes distritos.

O distrito de Chinde, possui uma costa longa de 100 km e um crescimento populacional de 10 % no ano de 2017 em relação ao ano de 1997. Embora o crescimento da população não seja pequeno, ainda é insignificante para representar um risco ao meio físico devido a sua extensão litorânea. Por outro lado, o baixo risco ao ecossistema que se pode atribuir ao distrito de Inhassunge, que embora tenha somente 25 km de linha de costa, o crescimento populacional observado foi pequeno, de apenas 5% e, por sinal o menor entre os 8 distritos costeiros desta província (Figura 10).

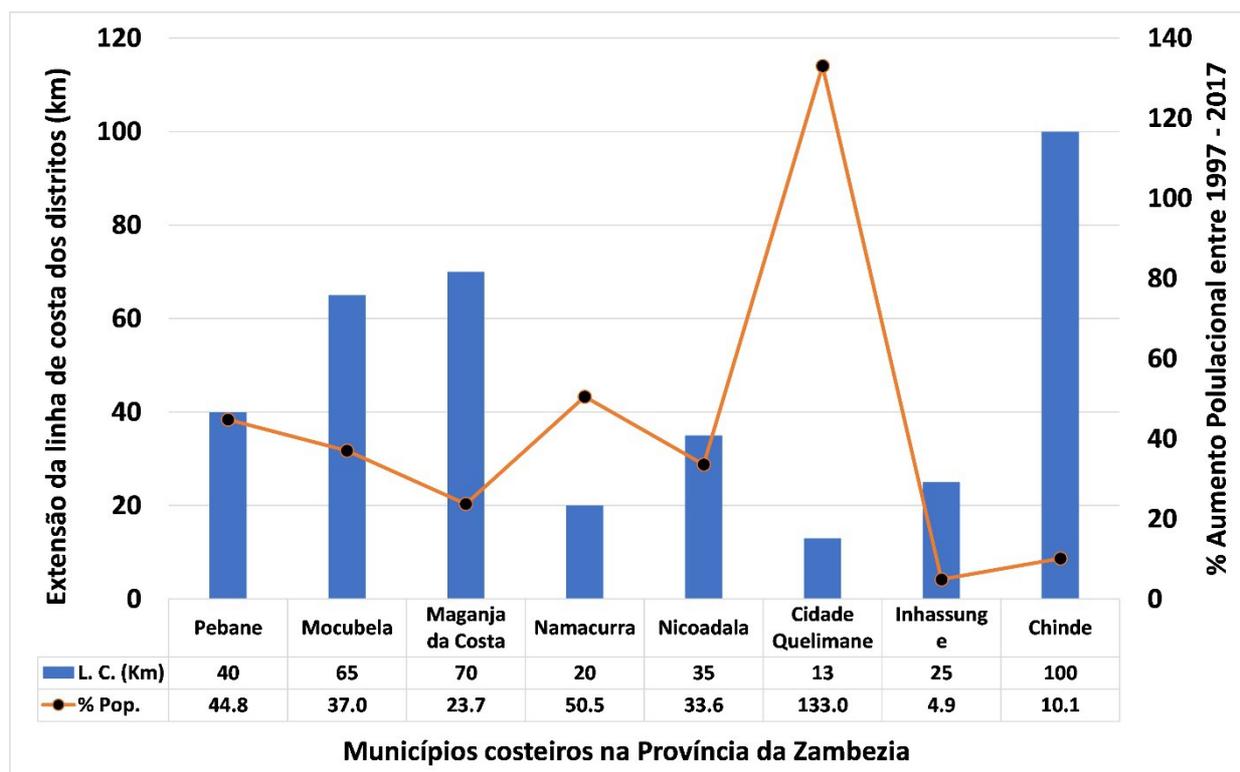


Figura 10. Correlação entre o valor percentual do crescimento demográfico ocorrido entre os anos de 1997 a 2017 em cada distrito litorâneo da província da Zambézia (pontos pretos) e a sua extensão da linha de costa. O histograma de barras de cor azul representa a extensão em quilômetros da linha de costa de cada um dos distritos litorâneos na província de Inhambane. A linha de cor laranja destaca a comparação entre os valores percentuais do crescimento populacional nos 8 distritos costeiro da província da Zambézia.

Na província de Nampula, os distritos litoranêos que registram maior pressão sobre o ecossistema em decorrência do aumento populacional alcançado em 2017 são: Larde e Liúpo. No distrito de Liúpo, a população aumentou 153 % e com uma linha de costa curta de 35 km representa o caso mais crítico (Figura 11). Em Larde, o aumento da população foi de 101 %, com uma linha de costa também pequena, de 40 km.

Embora o crescimento populacional tenha sido inferior a 100 % nos 8 distritos costeiros restantes da província de Nampula no ano de 2017 face ao censo de 1997, se constata da mesma forma que esse aumento na população signica uma ameaça sobre o meio físico nos dstritos costeiros. (Figura 11).

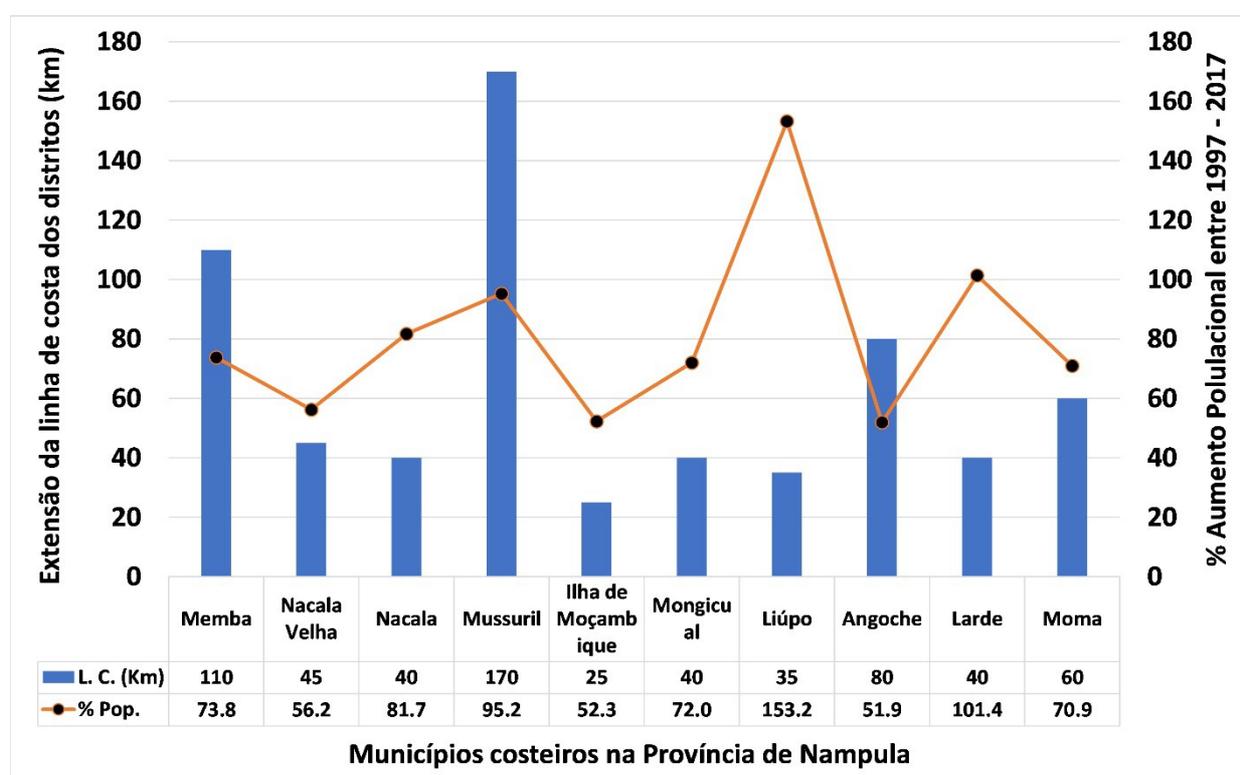


Figura 11. Correlação entre o valor percentual do crescimento demográfico ocorrido entre os anos de 1997 a 2017 em cada distrito litorâneo da província de Nampula (pontos pretos) e a sua extensão da linha de costa. O histograma de barras de cor azul representa a extensão em quilômetros da linha de costa de cada um dos distritos litorâneos na província de Inhambane. A linha de cor laranja destaca a comparação entre os valores percentuais do crescimento populacional nos 10 distritos costeiro da província de Nampula.

As cidades e distritos costeiros em Moçambique, ao terem um rápido crescimento populacional, muitas vezes acompanhada de uma urbanização desordenada, podem contribuir para que ocorram alterações na natureza antrópica como erosão de dunas, manguezais, corais, ervas

marinhas, etc. Estas alterações no meio físico e biótico agravam a vulnerabilidade da costa face a eventos extremos, como ressacas marítimas e ciclones.

Índice de Vulnerabilidade Costeira simplificado (IVCs)

Na Figura 12 se correlaciona a altimetria média dos distritos litorâneos na região de estudo e, a densidade de ocupação populacional (População/km) desses mesmos distritos com base nos valores do censo demográfico de 2017. O histograma retratado pelas cores: verde, azul, preto e vinho na figura, aludem para a altimetria média inferida em cada distrito litorâneo das províncias de Inhambane, Sofala, Zambézia e Nampula.

A interdependência entre altimetria média nos distritos litorâneos e a densidade de ocupação populacional (População/km) exprime o IVCs. A correlação apresentada na Figura 12 é um bom indicador para avaliar a vulnerabilidade de territórios litorâneos com cotas altimétricas próximas do nível médio das águas do mar e de populações que nelas habitam.

Os resultados obtidos do IVCs mostram que a região centro de Moçambique é a mais vulnerável pelos eventuais danos causados pela incidência de ciclones e inundações. As cotas médias nos distritos litorâneos entre as províncias de Sofala e Zambézia são inferiores a 10 m. Por outro lado, a densidade populacional por linha de costa nos distritos costeiros das províncias de Sofala e Zambézia é maior em relação as províncias de Inhambane e Nampula. Esta fato mostra que as populações destes distritos no centro do país estão mais expostos aos danos causados pelos eventos extremos (Figura 12).

As cidades da Beira em Sofala, Quelimane na Zambézia são as mais vulneráveis, visto que dispõem de uma densidade populacional de ~15.000 pessoas/km ou superior, numa região onde as cotas altimétricas médias são de 8,0 e 6,0 m, i.e., próximas ao nível médio das águas do mar. O cenário mais crítico dessa vulnerabilidade na zona costeira em Moçambique face a eventos climáticos se observa na cidade de Quelimane, dado que a densidade populacional nesta cidade é 92 % maior em relação à cidade da Beira (Figura 12).

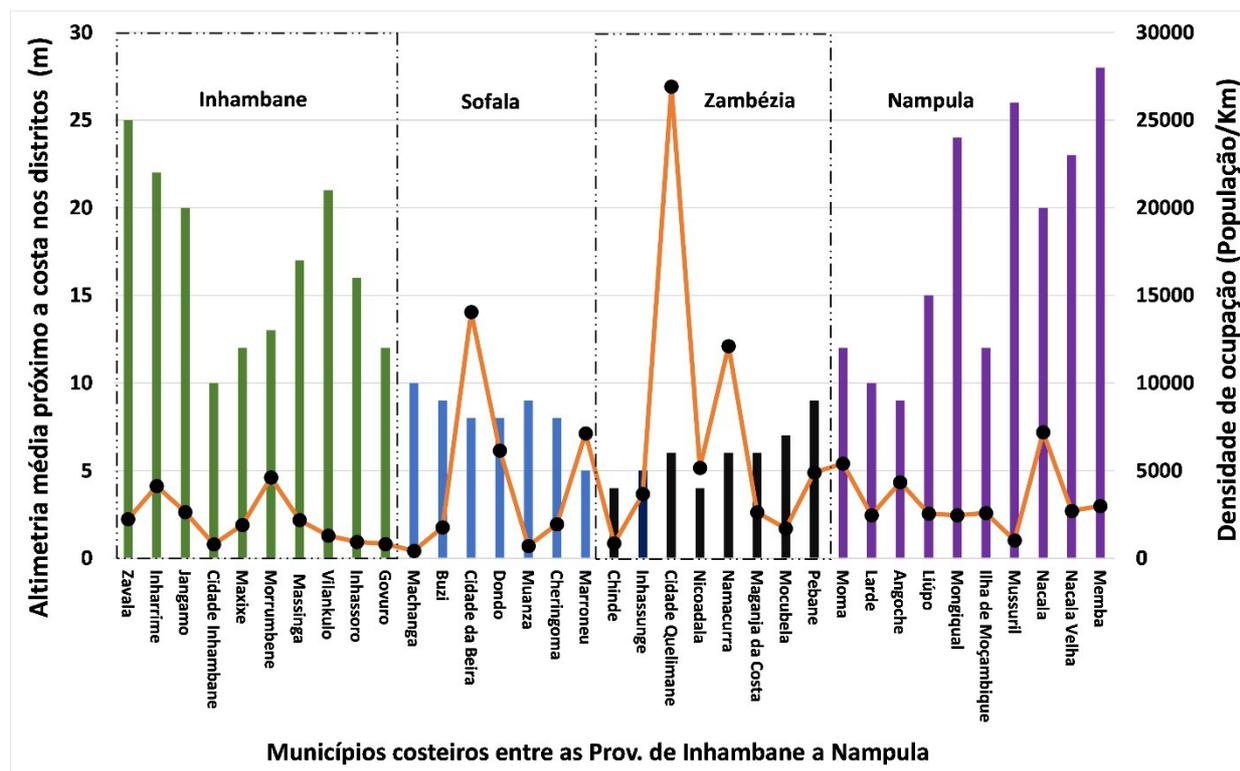


Figura 12. Correlação entre a altimetria média inferida para cada distrito litorâneo na região de estudo, entre as províncias de Inhambane a Nampula e, a densidade de ocupação populacional (População/km) nesses distritos com base no censo estatístico de 2017. O histograma de barras de cor verde representa a altimetria média inferida para cada distrito litorâneo da província de Inhambane. O histograma de barras de cor Azul representa a altimetria média inferida para cada distrito litorâneo da província de Sofala. O histograma de barras de cor preta representa a altimetria média inferida para cada distrito litorâneo da província da Zambézia. O histograma de barras de cor vinho representa a altimetria média inferida para cada distrito litorâneo da província de Nampula.

A exposição e sensibilidade das populações aos eventos climáticos extremos na zona costeira nas cidades da Beira e Quelimane é crítica de tal modo que, políticas para salvaguardar a vida e reduzir os impactos sobre bens econômicos e o ecossistema devem ser executadas com rigor. A cidade da Beira, maior urbe na região estudada possui uma infraestrutura de engenharia diversa, como: terminais marítimos, habitações, hotéis, espigões que precisam ser urgentemente protegidos. Desta forma, problemas de erosão costeira existentes em decorrência da alteração do balanço sedimentar e das mudanças climáticas carecem de soluções técnicas, embora alguma dessas soluções conhecidas, jamais foram implementadas (Figura 13).

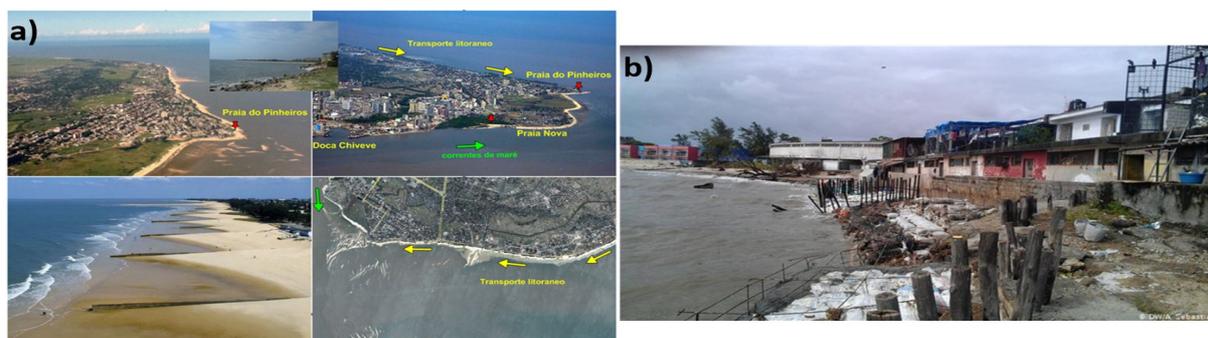


Figura 13. (a) Ilustração do sentido do transporte litorâneo na costa adjacente à cidade da Beira. **Fonte:** Nzualo, 2015. **(b)** Erosão costeira no bairro Ponta Gêa na cidade da Beira. **Fonte:** DW África, 2015.

O presente artigo, embora usando uma metodologia com poucos dados, como é o caso do IVCs, encontra resultados robustos que complementam as conclusões obtidas por Cabral et al.³⁸, ao estudarem a exposição relativa da costa moçambicana à erosão e inundação. Estes autores aplicaram o modelo InVEST desenvolvido pela Natural Capital Projec para calcular o Índice de Exposição (IE) da costa de Moçambique aos riscos climáticos.

Dois cenários de vulnerabilidade da costa a riscos climáticos foram simulados no trabalho de Cabral et al.³⁹, sendo o primeiro, aquele que pressupõe na simulação do modelo InVEST, a existência de habitats naturais na zona costeira como: dunas, manguezais, corais, ervas marinhas e outros, que protegem a costa contra eventos climáticos extremos. O segundo cenário, presume que a costa não dispõe desses habitats. Os resultados de ambos os cenários mostram que a região centro de Moçambique é a mais vulnerável a erosão e, com efeitos mais danosos sobre a costa, no modelo simulado na ausência de habitats⁴⁰.

Conclusões

A metodologia empregada no presente trabalho permitiu identificar os distritos costeiros mais vulneráveis aos riscos de inundações nas zonas costeiras em Moçambique devido a elevação do nível médio do mar associado a efeitos da maré meteorológica e a ciclones tropicais.

Os resultados obtidos do IVCs mostram que a região centro de Moçambique é a mais vulnerável pelos eventuais danos causados devido a incidência de ciclones e inundações. As cotas

38 CABRAL, Pedro, et al. Assessing Mozambique's exposure to coastal climate hazards and erosion. International Journal of Disaster Risk Reduction, 23, 2017, (45-52). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.04.002>.

39 *Ibid.*

40 *Ibid.*

médias nos distritos litorâneos entre as províncias de Sofala e Zambézia são inferiores a 10 m. Por outro lado, a densidade populacional por linha de costa nos distritos costeiros das províncias de Sofala e Zambézia é maior em relação as províncias de Inhambane e Nampula. Este fato, mostra que as populações dos distritos no centro do país estão mais expostos aos danos causados pelos eventos extremos.

No que concerne aos efeitos nefastos sobre a degradação do meio físico e biótico que eventualmente tenham ocorrido nos distritos aqui mencionados, devido ao crescimento populacional entre 1997 a 2017, estudos específicos devem ser desenvolvidos para que se tenham conclusões mais assertivas.

A mitigação e o gerenciamento integrado da zona costeira impõe que haja um controle dos órgãos ambientais governamentais sobre atividades econômicas e industriais situadas na costa. Estes órgãos devem coibir a execução de obras de engenharia próximo a faixa dinâmica da praia que alterem o equilíbrio morfodinâmico da região litorânea. A realização de estudos multidisciplinares continuados das causas e efeitos das mudanças climáticas devem ser estimulados para melhor administração da zona costeira. Por fim, devem ser realizadas ações de educação ambiental em escolas, locais de trabalho e públicos com o propósito de se desenvolver gradualmente na população uma nova “mentalidade” sobre os problemas da vulnerabilidade da zona costeira face às mudanças climáticas.

Referências Bibliográficas

ALI, A. Vulnerability of Bangladesh to climate change and sea level rise through tropical cyclones and storm surges. *Water, Air, and Soil Pollution*, 92, 1996, (171-179). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00175563>. Acesso em: 20/05/2020.

ASANTE, K. et. al. Study on the Impact of Climate Change on Disaster Risk in Mozambique. *International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)*, 2016 (Last Modified). Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/9007>. Acesso em: 22/05/2020.

BACKEBERG, B. C.; REASON, C. J. C. A connection between the South Equatorial Current north of Madagascar and Mozambique Channel Eddies. *Geophysical Research Letters*, 37, L04604, 2010, (1-6). Disponível em: <http://doi.org/10.1029/2009GL041950>. Acesso em: 20/05/2020.

BIÉ, Alberto J., et. al. Numerical modeling of storm surges in the coast of Mozambique: the cases of tropical cyclones Bonita (1996) and Lisette (1997). *Ocean Dynamics*, 67, 2017, (1443-1459).

CABRAL, Pedro, et al. Assessing Mozambique's exposure to coastal climate hazards and erosion. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 23, 2017, (45-52). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.04.002>. Acesso em: 20/05/2020.

CHEMANE, David, et. al. Vulnerability of coastal resources to climate changes in Mozambique: a call for integrated coastal zone management. *Ocean and Coastal Management*, 37, 1997, (66-83). Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(97\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(97)00073-2). Acesso em: 20/05/2020.

CCPI, Climate Change Performance Index. *Results 2020*. Germanwatch, NewClimate Institute & Climate Action Network: 2019. Disponível em: https://newclimate.org/wp-content/uploads/2019/12/CCPI-2020-Results_Web_Version.pdf. Acesso em: 22/05/2020

De SCALLY, Fes A. Historical tropical cyclone activity and impacts in the Cook Islands. *Pacific Science*, 62(4), 2008, (443-459). Disponível em: [https://doi.org/10.2984/1534-6188\(2008\)62\[443:HTCAAJ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2984/1534-6188(2008)62[443:HTCAAJ]2.0.CO;2). Acesso em: 21/05/2020.

GOOGLE EARTH. Imagens de 05/2020 da linha de costa da Província de Sofala em Moçambique. *Google Earth Pro*, 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>

GORNITZ V.M., et. al. The development of coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the US southeast. *J Coast Res.* 12, 1994, (327-338).

GRAY, W.M. The formation of tropical cyclones. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 67, 1998, (37-69). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01277501>. Acesso em: 20/05/2020.

HALO, Issufo, et. al. Deep-Sea Research II Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 2014, (38-53). Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.10.015>. Acesso em: 20/05/2020.

HANCKE, Lisa, et. al. Surface drifter trajectories highlight flow pathways in the Mozambique Channel. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 2014, (27-37). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.10.014>. Acesso em: 20/05/2020.

HOGUANE, Antônio M. Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1), 2007, (69-82). Disponível em: https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7_8_Hoguane.pdf. Acesso em: 21/05/2020.

HOLLAND, Greg J. The maximum potential intensity of tropical cyclones. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 54, 1997, (2519-2541). Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1997\)054<2519:TMPIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1997)054<2519:TMPIOT>2.0.CO;2). Acesso em: 20/05/2020.

INE. Indicadores Sócio Demográficos Província de Sofala 2007. *Instituto Nacional de Estatística*, 1997. Disponível em: <http://www.ine.gov.mz/operacoes-estatisticas/censos/censo-2007/rgph-1997>. Acesso em: 19/05/2020.

INE. Indicadores Sócio Demográficos Província de Sofala 2007. *Instituto Nacional de Estatística*, 2007. Disponível em: <http://www.ine.gov.mz/operacoes-estatisticas/censos/censo-2007/rgph-2007>. Acesso em: 19/05/2020.

INE. Divulgação dos Resultados Preliminares IV RGPH 2017. *Instituto Nacional de Estatística*, 2017. Disponível em: <http://www.ine.gov.mz/operacoes-estatisticas/censos/censo-2007/censo-2017>. Acesso em: 19/05/2020.

INGC. (2019). *Avaliação rápida multisectorial pós-ciclone Idai*: 14 distritos das províncias de Sofala e Manica Moçambique. Relatório Final 1-17 de abril de 2019. Disponível em: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Mozambique_ARM_20190425_final_PT.pdf. Acesso em: 20/05/2020.

IPCC. *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/>. Acesso em: 20/05/2020.

IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014, (1-32). Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_en-1.pdf. Acesso em: 20/05/2020.

IPCC. *Aquecimento Global de 1,5°C*: Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza. 2019. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_SPM_Portuguese.pdf. Acesso em: 20/05/2020.

JONES, Sam; TVEDTEN, Inge. What does it mean to be poor? Investigating the qualitative-quantitative divide in Mozambique. *World Development*, 117, 2019, (153-166). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.01.005>. Acesso em: 21/05/2020.

JURY, Mark R. A preliminary study of climatological associations and characteristics of tropical cyclones in the SW Indian Ocean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 51, 1993, (101-115). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01080882>. Acesso em: 21/05/2020.

KAIRU, Kuria; NYANDWI, Ntahondi (orgs). *Guidelines for the study of shoreline change in the Western Indian Ocean region*. IOC manual and guide no. 40 UNESCO, Paris, 2000. Disponível em: <file:///C:/Users/vaflo/Downloads/335464.pdf>. Acesso em: 21/05/2020.

MATYAS, Corene J. Tropical cyclone formation and motion in the Mozambique Channel. *International Journal of Climatology*, 35, 2015, (375-390). <http://doi.org/10.1002/joc.3985>. Acesso em: 20/05/2020.

MAVUME, Alberto F., et al. Climatology and Landfall of Tropical Cyclones in the South - West Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 8(1), 2009, (19-39). Disponível em: <http://doi.org/10.4314/wiojms.v8i1.56672>. Acesso em: 20/05/2020.

Ministério do Meio Ambiente – MMA do Brasil. Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa – PROCOSTA [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial. – Brasília, DF: MMA, 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/198-gestao-costeira-procosta>. Acesso em: 30/05/2020.

MUIS, Sanne, et. al. A global reanalysis of storm surges and extreme sea levels. *Nature Communications*, 7, 11969, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.1038/ncomms11969>. Acesso em: 22/05/2020.

NEEDHAM, Hal; KEIM, Barry D. Storm Surge: physical processes and an impact Scale. LUPO, Anthony (Org.). *Recent Hurricane Research: climate, dynamics, and societal impacts*. Croatia: Intech Open, 2011, (385-406). Disponível em: DOI: 10.5772/15925. Acesso em: 22/05/2020.

NEUMANN, James et. al. (2013). Assessing the risk of cyclone-induced storm surge and sea level rise in Mozambique. *WIDER Working Paper*, 036, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/80986>. Acesso em: 25/05/2020.

NZUALO, Teodósio N. M. Uma contribuição para o entendimento da formação de bancos arenosos no estuário da Beira, Moçambique, sob a ação de ondas e macro-maré. Tese (Doutorado em Engenharia Costeira). Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

NZUALO, Teodósio N. M., et. al. Short-term tidal asymmetry inversion in a macrotidal estuary (Beira, Mozambique). *Geomorphology*, 308, 2018, (107–117). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.029>. Acesso em: 20/05/2020.

PUGH, David T. *Tides, surges and mean sea-level*. Chichester, UK: John Wiley & Sons. 1987. Disponível em: [http://doi.org/10.1016/0264-8172\(88\)90013-X](http://doi.org/10.1016/0264-8172(88)90013-X). Acesso em: 22/05/2020.

RIDDERINKHOF, Herman; DE RUIJTER, Wilhelmus P. M. Moored current observations in the Mozambique Channel. *Deep-Sea Research II*, 50, 2003, (1933-1955). [http://doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00041-9](http://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00041-9). Acesso em: 20/05/2020.

De RUIJTER, Wilhelmus P. M., et. al. Observations of the flow in the Mozambique Channel. *Geophysical Research Letters*, 29(10), 2002, (3-5). Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2001GL013714> Acesso em: 20/05/2020.

SEGTAN, Ole. Simulating the circulation in the Mozambique Channel by use of a numerical ocean model. Master Thesis (Master Thesis in Physical Oceanography). University of Bergen, Bergen, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1956/1495>. Acesso em: 25/05/2020.

SAETRE, Roald; SILVA, António Jorge da. Water masses and circulation on the Mozambique channel. *Revista de Investigação Pesqueira*, 3, 1982, (1-83). Disponível em: <http://aquaticcommons.org/id/eprint/17106> Acesso em: 20/05/2020.

SAFFIR, H. S. Florida's approach to hurricane-resistant design and construction. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 44, 1989, (1041-1052).

Sebastião, Arcénio. Erosão costeira ameaça cidade da Beira. *DW África*, 2015. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-002/eros%C3%A3o-costeira-amea%C3%A7a-cidade-da-beira/a-18312313> Acesso em: 22/05/2020.

SETE, Cândida, et. al. Seasonal Variation of Tides, Currents, Salinity and Temperature along the Coast of Mozambique. *UNESCO (IOC) – ODINAFRICA*, 2002, (01-72).

THERON, André; BARWELL, Laurie. Responding to climate change in Mozambique: Theme 2: Coastal planning and adaptation to mitigate climate change impacts. *Stellenbosch: CSIR*. 2012

THIÉBLEMONT, Antoine, et. al. Contourite depositional systems along the Mozambique channel: The interplay between bottom currents and sedimentary processes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 147, 2019, (79-99). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.03.012>. Acesso em: 22/05/2020.

THIELER, E. Robert; Hammar-Klose Erika S. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise, US Atlantic coast. *Open-File Report*. 99(593), 1999.

UNITED NATIONS. Cartographic map profile Mozambique. Map No. 3706 Rev. 6, 2016. Disponível em: <http://www.un.org/Depts/Cartographic/map/profile/mozambiq.pdf>. Acesso em: 28/05/2020.

WARREN, Matthew. Why Cyclone Idai is one of the Southern Hemisphere's most devastating storms. *Nature research journal*, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-00981-6> Acesso em: 25/05/2020.

World Meteorological Organization – WMO. Guide to Storm Surge Forecasting. WMO-No. 1076, Geneva, 2011. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7747. Acesso em: 25/05/2020.