

Ambientes Geográficos Virtuais: Método de construção do módulo de simulação 3D da elevação do nível do mar na região da Ponta d'Areia São Luís - MA

David Silva e Silva¹
Karla Donato Fook²
André Luís Silva dos Santos²
Hélder Pereira Borges²
Denilson da Silva Bezerra³
Dario Vieira Conceição⁴

¹ Universidade Estadual do Maranhão – Centro de Ciências Tecnológicas
Cidade Universitária Paulo VI – Caixa Postal 09 – São Luís – MA, Brasil
davidsilva.silva@outlook.com

² Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo
Avenida Getúlio Vargas, Nº 04, Monte Castelo, CEP: 65030-005 – São Luís – MA, Brasil
{karladf, andresantos, helder}@ifma.edu.br

³ Universidade CEUMA – Campus Renascença
Rua Josué Montello, Nº 1, Renascença II, CEP: 65.075-120 – São Luís – MA, Brasil
denilson_ca@yahoo.com.br

⁴ École d'ingénieur généraliste en informatique et technologies du numérique – EFREI
30-32 avenue de la République, 94 800 – Villejuif – Paris – França
dario.vieira@efrei.fr

Abstract. The growing concern about the sea level elevation, leads to the study of vulnerability to flooding coastal zones by extreme events as well as by the very increase in the mean sea level, therefore, the need for simulation studies on this topic including the ground altimetry, distribution of buildings, environmental, social and economic impacts motivate the development of this work. The Virtual Geographic Environments, proposed as support systems for specific studies of simulation and analysis of geographic phenomena, are presented as accurate and relevant tools for this study. This work proposes the application of Virtual Geographic Environments concepts for the development of a 3D module for visualization and simulation of the rising sea level on the region of Ponta d'Areia in São Luís, Maranhão, Brazil.

Keywords: three-dimensional visualization, geoprocessing, sea level rise, visualização tridimensional, geoprocessamento, elevação do nível do mar.

1. Introdução

A elevação do nível do mar é um efeito persistente relacionado às mudanças climáticas, sendo um dos eventos relevantes discutidos no Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC). O conhecimento dos efeitos locais da elevação do nível do mar é necessário para a previsão de eventos naturais danosos ecologicamente, socialmente e economicamente.

Mudanças no nível do mar são fenômenos naturais na história da Terra, porém, segundo o quinto relatório de avaliação do IPCC (2014), a taxa e elevação do nível médio do mar a partir da metade do século 19 tem sido maior que a média dos dois milênios anteriores. Os fenômenos de expansão termal do oceano e o derretimento das geleiras são apontados como os maiores contribuintes para a elevação do nível do mar (cerca de 75%), ambos resultados do aquecimento global (IPCC, 2014).

Ainda de acordo com as projeções desenvolvidas pelo IPCC (2014), em um cenário global otimista entre 2081 e 2100 haverá uma elevação entre 26 a 55cm (RCP¹ 2.6 - baixa concentração de gases do efeito estufa na atmosfera), em um cenário mediano haverá uma elevação entre 32 e 63cm (RCP 4.5 e 6 - concentrações estáveis de gases do efeito estufa na atmosfera) e em um cenário pessimista entre 52 a 98cm até 2100 (RCP 8.5 - altas concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera).

Segundo DeConto e Pollard (2016), estes cenários podem ser mais alarmantes, pois, modelos atualizados demonstraram em simulações o acréscimo de pelo menos 1 metro à projeção estimada para o ano de 2100 no AR5² e 15 metros até 2500. Traduzindo em impactos, a elevação do nível do mar em 1 metro resultaria na perda de aproximadamente 0.3% de território continental e afetaria aproximadamente 56 milhões de pessoas em 84 países em desenvolvimento (Dasgupta et al., 2007). No ano 2000, estimativas apontavam a existência de 634 milhões de pessoas vivendo em áreas costeiras de baixa elevação, e destas, 360 milhões se encontravam em regiões urbanas (Mcgranahan et al., 2007). Visto que a população global entre 2050 e 2080 é estimada em aproximadamente 10 bilhões de indivíduos (Nicholls, 2002), projeções para o ano de 2060 apontam aproximadamente 1,400 bilhões de pessoas vivendo em regiões costeiras de baixa elevação, suscetíveis aos impactos da elevação do nível do mar (Neumann et al, 2015).

Regionalmente, aproximadamente 70% das regiões costeiras terão mudanças no nível do mar local em torno de 20% em relação ao nível global até o final do século (IPCC, 2014), isto colocaria em risco 52.3 milhões de pessoas em regiões costeiras de baixa elevação na América Latina (Neumann et al., 2015). De acordo com o Ministério de Meio Ambiente (Strohaecker, 2008), existem 395 municípios localizados em zona costeira, os quais abrigam aproximadamente 24% da população nacional. Ainda segundo Neumann et al. (2015) nos anos 2000, 12 milhões de pessoas no Brasil viviam em regiões costeiras de baixa elevação sob riscos relacionados a elevação do nível do mar, e em projeção até 2060 este número pode chegar a 18,7 milhões.

Diante dos riscos relacionados à elevação do nível do mar, a necessidade de estudos de simulação sobre essa temática que incluam a altimetria do terreno, distribuição de edificações, estudos de impacto ambiental, social e econômico motivam o desenvolvimento deste trabalho.

Os Ambientes Geográficos Virtuais (em inglês, Virtual Geographic Environments VGEs), citados neste trabalho, tomam como base os fundamentos dos Sistemas de Informação Geográfica e da Ciência da Informação Geográfica para o desenvolvimento de ambientes virtuais focados na representação do espaço geográfico e seus fenômenos, e na maneira como os usuários (especialistas ou não) interagem com o software (Lin e Batty, 2012). Em outras palavras, VGEs são uma mescla do conhecimento geográfico, tecnologia computacional, realidade virtual, redes e tecnologias da informação geográfica, cujo o objetivo é prover uma forma de representação multidimensional similar (em representação e escala) ao geográfico real, dando aos usuários a capacidade de explorar, realizar experimentos e simular fenômenos (Lin et al 2013).

Com base nos conceitos sobre os Ambientes Geográficos Virtuais, este trabalho apresenta um método de desenvolvimento do módulo de visualização e simulação da elevação do nível mar através de um ambiente virtual 3D (para plataforma Web), com base na estimativa do RCP

¹Representative Concentration Pathways: são quatro trajetórias de concentração de gases do efeito estufa adotados pelo IPCC para a modelagem climática em seu relatório de avaliação.

²Fifth Assessment Report: quinto relatório de avaliação elaborado pelo IPCC, este apresenta os impactos do aquecimento global sobre os sistemas naturais terrestres, e as ações necessárias para a mitigação e proteção contra estes efeitos.

8.5 do AR5 (IPCC 2014) e no cenário de simulação de Bezerra (2014).

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é a praia da Ponta d'Areia localizada na baía de São Marcos, na parte oeste da Ilha do Maranhão, com extensão de orla de 2,5 km, indo do Pontal da Ponta d'Areia (Figura 1) ($2^{\circ} 29' 17''$ latitude S e $44^{\circ} 09' 19''$ Longitude W) até o farol de São Marcos ($2^{\circ} 29' 04''$ Latitude S e $44^{\circ} 08' 22''$ Longitude W), região esta, que recebe a ação de marés semi-diurnas que podem chegar a 7 metros em períodos de sizígia (Correia et. al., 2006), e é uma região vulnerável a eventos extremos principalmente relacionados a marés que recentemente vem impactando com a ação da erosão (Abrantes, 2012) e poluição (Amorim et al., 2010).

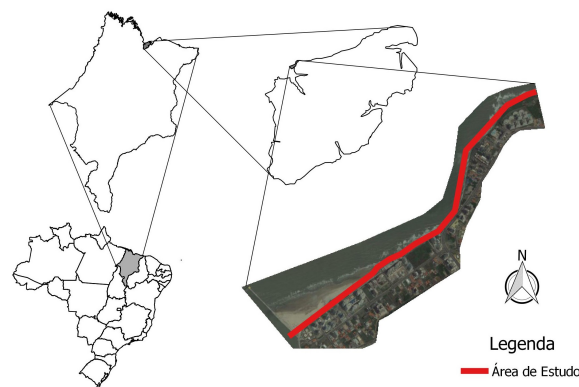


Figura 1: Área de Estudo.

2.2. Materiais e Métodos

Para a construção deste módulo de visualização e simulação duas fases foram desenvolvidas. A primeira fase consistiu na aquisição de dados de altimetria da região de estudo bem como processamento desta para um formato intercambiável de simples leitura para implementação. A segunda fase consistiu na implementação computacional em linguagem javascript, utilizando os recursos do WebGL através da biblioteca ThreeJs.

Na primeira fase os dados de altimetria foram extraídos em duas etapas, na primeira etapa foram adquiridos dados para a área urbanizada através de imagem SRTM com 30m de resolução espacial, distribuída pela USGS (United States Geological Survey) através do portal EarthExplorer, estando georreferenciada no datum wgs84 com sistema de coordenadas geodésicas decimais. Na segunda etapa, foram definidos valores de altimetria para faixa de areia que constitui a praia através de imagens de cobertura pancromática com 30cm de resolução espacial, coletadas pelo satélite WorldView-3 da Digital Globe e disponibilizadas pelo Google Earth. Com base em duas amostras destas imagens, uma para maré baixa e outra para maré alta, através do software Google Earth foi definida a área de influencia de maré (estirâncio), bem como bancos de sedimentos que não são afetados pelos movimentos de baixa-mar e preia-mar no nível do mar atual. Com base nestas imagens também foram extraídas as feições dos imóveis existentes próximos a orla.

A segunda fase, que consistiu na implementação computacional, utilizou como entrada os dados adquiridos na fase anterior, exportados para o formato intercambiável GeoJson. O algoritmo desenvolvido neste trabalho realiza então a leitura deste formato e constrói com base nos dados de posição e altimetria, uma malha tridimensional composta por vértices e

faces representando a topografia da área de estudo. Nesta fase também são implementadas as funções de visualização de curvas de nível, construção de representações 3D para os imóveis, construção de representação 2D para o corpo d'água e as regras de elevação no nível do mar para a simulação. A simulação de elevação segue a Equação 1 definida por Bezerra (2014), que a adotou como regra para elevação do nível do mar em seu modelo baseado em células.

$$E = C_a + (Ev \times R) \quad (1)$$

E é a elevação do nível do mar, C_a é a coluna d'água a cada evento de elevação, Ev é o passo de elevação correspondente a um ano e R é a taxa de incremento a cada evento de elevação (Bezerra, 2014). Em seu trabalho foram adotados 88 eventos de elevação (Ev) equivalentes ao intervalo entre os anos 2012 e 2100, a taxa de incremento R adotada foi 0,011m ao ano (Bezerra, 2014).

3. Resultados e Discussão

3.1. Aquisição e Tratamento dos Dados de Entrada

No desenvolvimento prático da primeira fase, com o auxílio do software Qgis 2.14.1, foi extraída da imagem SRTM uma malha vetorial de pontos, possuindo coordenadas lat/long e altimetria em metros.

Com auxílio do software Google Earth, a área de influência de maré e os bancos de areia foram estimados com base na diferença observada em imagens de baixa-mar e preia-mar. Esta área de influência foi dividida em 10 faixas de elevação representadas por polígonos, variando de 0 à 1m, onde 0 é o nível do mar na imagem SRTM. No Qgis foi realizada uma busca espacial selecionando as feições da malha de pontos que interceptam cada faixa de elevação, para associar a estes pontos à altimetria da faixa. Ainda com base nas imagens do Google Earth foram extraídas as feições de imóveis, estas possuem como atributos a altura do imóvel e sua elevação em relação ao nível do mar com base nos dados da imagem SRTM, por último com base na malha de pontos foram extraídas as curvas de nível.

Ao final desta fase de aquisição de dados, os três planos de dados: malha de pontos de altimetria, curvas de nível e as feições de imóveis, foram exportadas para arquivos no formato intercambiável de estruturas de dados geográficos GeoJson, estes arquivos serviram de dados de entrada para o ambiente virtual desenvolvido na segunda fase deste trabalho.

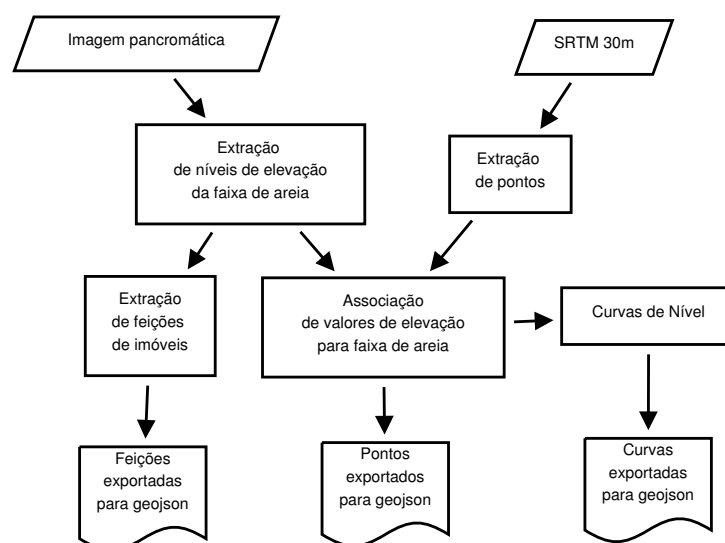


Figura 2: Esquema de aquisição de dados de entrada.

3.2. Desenvolvimento do Módulo de Visualização e Simulação

Na segunda fase os três planos de dados exportados em GeoJson forma lidos e transformados em estruturas suportadas pelo Threejs. Para a construção do terreno, os valores de latitude, longitude e altimetria da malha de pontos foram lidos e transformados para uma malha de vértices e faces, as faces receberam coloração de acordo com a altimetria do terreno.

Para a identificação rápida de altimetria do terreno, as curvas de nível foram lidas e transformadas em um conjunto de estruturas de linhas. Os dados sobre as posições dos imóveis foram lidos e transformados em geometrias representando a altura e elevação relativa ao nível do terreno. Pela regra de simulação definida, os imóveis são considerados em risco quando o corpo d'água colide com a base da geometria e estes recebem a cor vermelha para indicar a situação. Foi desenvolvido também um plano que carrega a imagem de satélite da área para que sirva de referência, e uma plano que representa o corpo d'água e que recebe a regra de simulação de elevação.

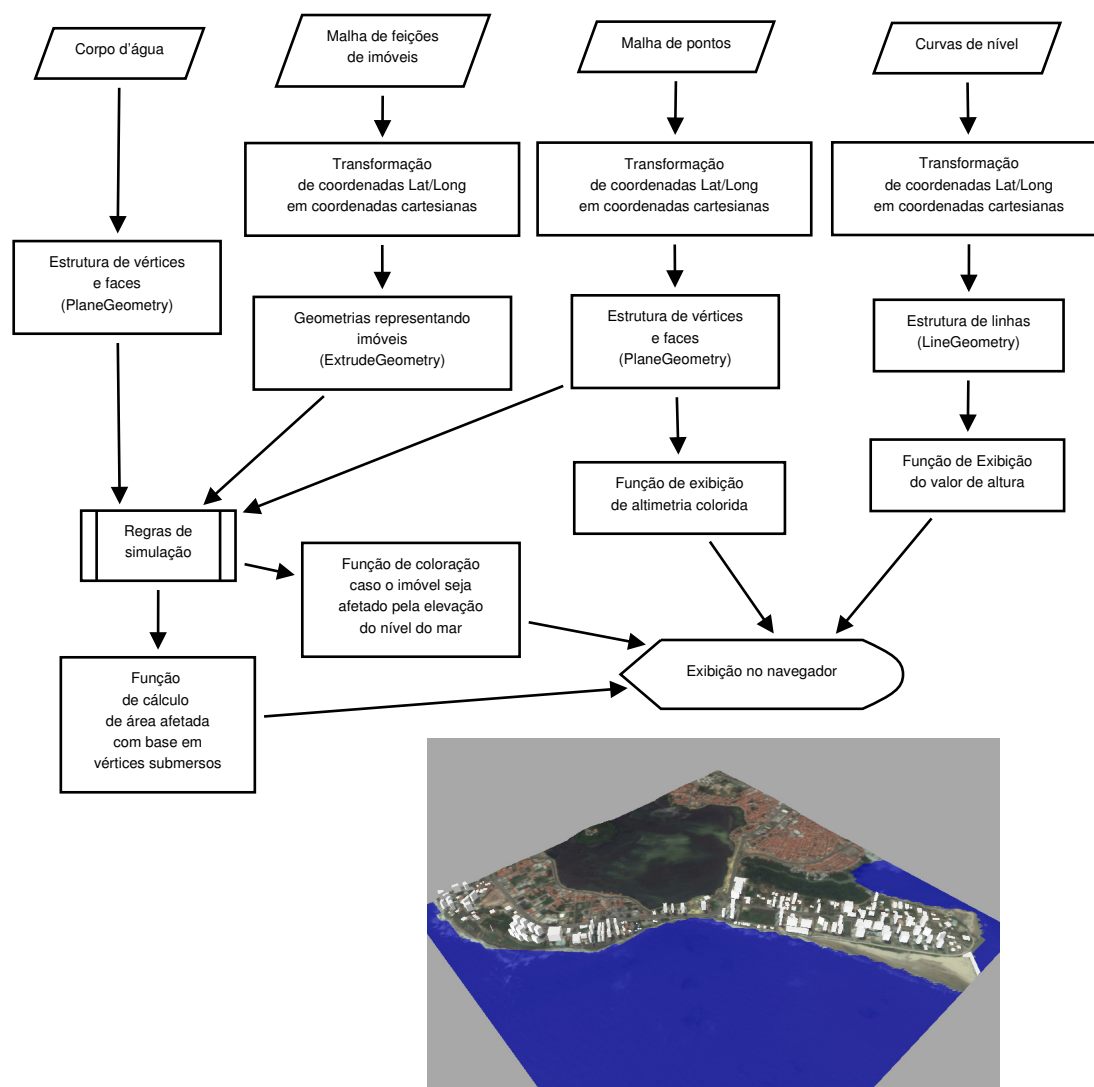


Figura 3: Esquema de construção do módulo de visualização e simulação.

3.3. Discussões

Este trabalho desenvolve um método para automatizar a construção do módulo de visualização de terreno e simulação de elevação do nível do mar para um VGE, que busca

dar suporte para estudos de erosão costeira frente às mudanças climáticas globais, identificação de edificações em risco e demais danos ocasionados por esse fenômeno. O estudo desenvolvido buscou simplificar e padronizar o processo de aquisição de dados, bem como implementar a automatização de leitura e transformação destes dados em estruturas 3D.

Neste estudo o plano que representa o corpo d'água recebe 85 incrementos de elevação (2015 a 2100) na taxa de $0,011\text{m} \left(\frac{0,98}{85}\right)$ ao ano, até que atinja o valor estimado pelo IPCC de 0,98m, o diagrama da Figura 4 representa o fluxo da simulação de elevação do nível do mar.

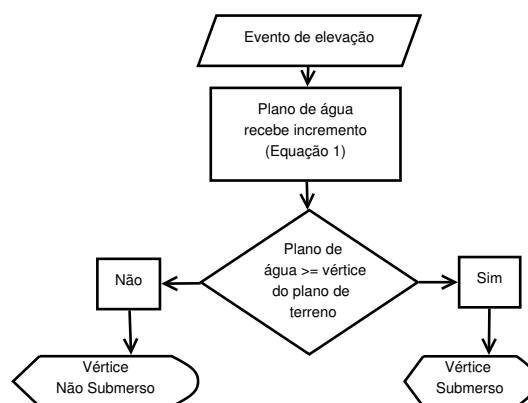


Figura 4: Fluxo de simulação da elevação.

Devido a falta de dados atualizados sobre a altimetria da área de estudo existem algumas observações sobre a imprecisão da simulação: 1) A imagem SRTM foi adquirida no ano 2000 durante a missão STS-99 da Nasa, deste ano até hoje a área de estudo sofreu um processo rápido de urbanização, alterando a configuração topográfica do terreno. 2) A imagem SRTM representa o espaço em células de 900m^2 , o que significa a perda de detalhamento principalmente nas bordas que delimitam terra e mar, e também o aparecimento de picos de altimetria por falta valores médios entre duas células. Contudo o algoritmo desenvolvido na segunda fase pode trabalhar com dados de entrada com resolução espacial maior ou menor.

4. Conclusões

A elevação do nível do mar em 0,98m como estimado no relatório do IPCC, não foi suficiente para afetar edificações residenciais com base nos dados de altimetria utilizados, contudo observou-se que outras estruturas como calçadões, quiosques, postos e pequenos bares e restaurantes dispostos pela orla da área de estudo sofrerão mais rapidamente com o fenômeno de elevação do nível do mar.

Apesar da imprecisão altimétrica, o método desenvolvido neste estudo possibilita automatizar a leitura de dados em formato GeoJson e transformá-los em um modelo de terreno 3D, assim como outros tipos de informações como curvas de nível e feições de imóveis, a representação do corpo d'água neste primeiro momento é simples mas suficiente para representar o fenômeno.

É válido ressaltar que este trabalho faz parte de um projeto maior que visa futuramente desenvolver um ambiente virtual geográfico completo, que abrange outros módulos como, módulo de armazenamento e recuperação de dados, modelos melhorados de simulação do fenômeno, módulo de interação que acrescentará funcionalidade de imersão e interatividade dos usuários com o ambiente virtual, módulo de colaboração onde os usuários irão compartilhar dados e informações inerentes a temática deste estudo, resultando por fim, em uma robusta plataforma de simulação e visualização onde usuários especialistas ou não serão imersos em

ambiente virtual para o estudo dos impactos, e proposição de soluções sobre a temática do fenômeno de elevação do nível do mar.

Por fim, observa-se a necessidade de estudos para aquisição de dados mais detalhados e precisos sobre a altimetria e batimetria, nível médio relativo do mar, distribuição demográfica e mapeamento minucioso de estruturas atópicas existentes na região de estudo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor. Ao IFMA pelo incentivo financeiro do programa especial de internacionalização da pesquisa.

Referências Bibliográficas

Abrantes, R. F. **Análise dos Processos de Erosão Costeira e dos Impactos Sócio-Ambientais Ocorridos na Praia da Ponta D'areia na Cidade De São Luis do Maranhão.** São Luís: Universidade Federal do Maranhão (UFMA), 2012.

Amorim, J. O. de; Rodrigues, M. T. F.; Cavalcanti Júnior, F. A.; Farias Filho, M. S. Ambiente e Lazer: Análise da Percepção Ambiental dos Frequentadores da Praia Ponta D'areia em São Luís-Ma In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos (ENG), 7, 2010, Porto Alegre. **Anais.** Org. por Alexandrina Luz Conceição; Cristiano Silva da Rocha Diógenes; Evelin Cunha Biondo. - São Paulo, SP : AGB, 2010. ISBN: 978-85-99907-02-3.

Bezerra, D. da Silva. **Modelagem da Dinâmica do Manguezal Frente a Elevação do Nível do Mar.** Tese (Doutorado em Ciências do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

Correia, F.P; Silva, L. S; Alves, S. R. S; Gatinho, M.N; Dias, L. J. B. S. Caracterização da Paisagem da Faixa Costeira do Norte da Ilha Do Maranhão: O Caso Da Praia Da Ponta d'Areia. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology, Goiânia, 2006. **Anais.** SINAGEO, Goiânia: UGB, 2006.

Dasgupta, S.; Laplante, B.; Meisner, C.; Wheeler, D.; Yan, J. **The impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis.** World Bank policy research working paper, n. 4136, 2007.

Deconto, R. M.; Pollard, D. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. **Nature**, v. 531, n. 7596, p. 591-597, 2016.

IPCC. Coastal Systems and Low-Lying Areas. In: **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 [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. 2014.

Lin, H.; Batty, M. **Virtual Geographic Environments.** ESRI, Redlands, CA. 350 p. 2012.

Lin, H.; Chen, M.; Lu, G.; Zhu, Q.; Gong, J.; You, X.; Wen, Y.; Xu, B.; Hu, M. Virtual geographic environments (VGEs): a new generation of geographic analysis tool. **Earth-Science Reviews**, v. 126, p. 74-84, 2013.

Mcgranahan, G.; Balk, D.; Anderson, B. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environment and urbanization**, v. 19, n. 1, p. 17-37, 2007.

Nicholls, R. J. Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 27, n. 32, p. 1455-1466, 2002.

Neumann, B.; Vafeidis, A. T.; Zimmermann, J.; Nicholls, R. J. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. **PloS one**, v. 10, n. 3, p. e0118571, 2015.

Strohaecker, T. M.. Potencial de Risco Natural. In: Ademilson Zamboni & Joao Luiz Nicolodi (org.), **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**, pp.93-120, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Brasília. DF, Brasil. 2008.