

Extração automática de linhas de costa aplicada ao monitoramento de processos de erosão costeira

Willamys Rangel Nunes de Sousa^{1,2}
Michael Vandesteem Silva Souto^{1,2}
Stefanny Soares Matos²
Cláudio Ângelo da Silva Neto²
Cynthia Romariz Duarte^{1,2}

¹ Programa de Pós-Graduação em Geologia – PPG
Universidade Federal do Ceará - UFC
Caixa Postal 85 - 60455-760 - Fortaleza-CE, Brasil
{rangelnunes, michael.souto}@gmail.com, cynthia.duarte@ufc.br

² Laboratório de Geoprocessamento do Ceará - GEOCE
Universidade Federal do Ceará - UFC
Caixa Postal 85 - 60455-760 - Fortaleza-CE, Brasil
ssmatos@hotmail.com, claudioasn@gmail.com

Abstract. Coastal erosion has been considered a global issue which impacts approximately 70% the shore regions on Earth. It causes environmental problems, affecting biodiversity, social problems, including property loss, and infrastructure damage, wasting millions of economic resources annually. Therefore, coastal erosion is a key concept that needs to be monitored and investigated. Remote sensing techniques and geographic information systems (GIS) have been vastly used in studies that evaluate land use changes in space and time being testified as extremely efficient approaches. Thus, remote sensing techniques and geoprocessing tools are powerful ways to obtain information continuously and dynamically for coastal regions in different levels and scales. In this context, the main objective of this study was to evaluate changes that occurred on the shoreline of Icapuí, a municipality in the state of Ceará, creating a time-series using Landsat data from 1990 to 2015. Additionally, Digital Image Processing techniques were applied and the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) was extracted to enhance the difference between pixel values for land and water. Through the use of those procedures and Python libraries, it was possible to extract automatically the shoreline for each year and then execute a dynamic analysis of the region for the past 25 years. Finally, the results showed that during the years, Icapuí in fact suffered significative modifications in its shoreline.

Palavras-chave: remote sensing, digital image processing, shoreline extraction, coastal analysis, sensoriamento remoto, processamento de imagens, extração de linha de costa, análise costeira.

1. Introdução

O processo de erosão costeira tem se tornado um problema de âmbito global, principalmente quando se trata dos efeitos lesivos sobre as atividades antrópicas instaladas na zona costeira (SOUTO, 2009; BOORI e AMARO, 2010; BOORI e AMARO, 2011).

Devido aos inúmeros benefícios socioeconômicos, como o fácil acesso à navegação oceânica, à pesca costeira, ao turismo e ao lazer, os assentamentos humanos estão mais concentrados na zona costeira. De acordo com Cohen et al. (1997), aproximadamente 20% da população humana mundial vive em uma faixa de trinta quilômetros do mar e quase o dobro desse número vive em até cem quilômetros de distância da costa.

Segundo Bijlsma et al. (1996), na faixa costeira as populações estão crescendo o dobro da média global, o que torna os potenciais impactos da subida do nível do mar um foco importante nas avaliações de gestão costeira.

Por sua vez, Nicholls, Hoozemans e Marchand (1999) estimaram que 600 milhões de pessoas ocuparão as terras da planície de inundação costeira até o ano 2100, tornando cada vez mais intensa a pressão sobre os ecossistemas costeiros.

Tais pressões tendem a acarretar a perda de biodiversidade, branqueamento dos recifes de coral, introdução de novas doenças entre os organismos, hipóxia, proliferação de algas nocivas, assoreamento e erosão costeira, redução na qualidade de água e consequente ameaça à saúde humana (SOUTO, 2009).

Além disso, o clima da região Nordeste pode ser classificado, segundo Nimer (1972), como do tipo semiárido quente com regime Tropical de Zona Equatorial, em que nos meses de junho a janeiro ocorre a estação da seca (verão ou estiagem) e nos meses de fevereiro a maio a estação chuvosa (chuvoso ou de inverno, como é conhecido esse período na região). Estas alterações climáticas, consequências do aquecimento global, e a decorrente elevação do nível do mar aumentarão ainda mais os riscos de inundações das zonas costeiras.

Espera-se que o nível médio do mar, em escala global, suba cerca de 0,5 m até 2100. Porém, segundo Rowley et al.(2007) esse aumento poderá variar de 1,0 a 6,0 m, regional e localmente, para diferentes regiões costeiras no mundo, devido aos fatores como a subsidência de terrenos geológicos, às induções antropogênicas e as alterações no fluxo hidrodinâmico dos oceanos.

Atualmente, sabe-se que diversos fatores influenciam na conformação da zona costeira, tais como: as características da geologia das faixas litorâneas e da plataforma continental adjacente, a geometria predominante das descontinuidades, incluindo a influência da geometria dos lineamentos topográficos e geológicos, dos planos de acamamento e ângulos de mergulhos das camadas das unidades sedimentares que alcançam a costa, além de outros fatores tais como os níveis do lençol freático, os processos sedimentares recentes e os impactos de uso e ocupação da zona costeira. Além disso, os fatores hidrodinâmicos e meteorológicos são fatores que influenciam as constantes mudanças observadas nas zonas costeiras (AMARO, 1998; AMARO e ARAÚJO, 2008).

No entanto, para dar suporte a estudos que visam monitorar os processos de erosão costeira, faz-se necessário uma base de dados eficiente que torne possível quantificar e calcular a taxa de erosão em um dado período de tempo. Entretanto, é difícil monitorar e mensurar a dinâmica costeira de forma exaustiva usando dados de levantamento no solo, dada a grande extensão espacial da região costeira (GE, LI e TURNER, 2013).

Neste contexto, o uso técnicas de geoprocessamento e Processamento Digital de Imagens (PDI) são aliados importantes nos estudos voltados ao gerenciamento de ecossistemas costeiros, no intuito de auxiliar o monitoramento dos impactos ambientais gerados pelos processos erosivos da linha de costa com base na análise de dados multifonte, a maioria deles procedente de séries temporais de produtos de sensoriamento remoto.

Portanto, devido à grande importância do tema, o objetivo deste trabalho é implementar um componente de *software* para extrair automaticamente linhas de costa a partir de uma série temporal de imagens do satélite Landsat, tendo como área piloto o litoral do município de Icapuí, no Estado do Ceará. Para atingir este objetivo, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e PDI.

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia desenvolvida neste trabalho visa implementar uma ferramenta que auxilie no monitoramento da evolução dos processos de erosão costeira. Para esta finalidade, o processo foi dividido em diversas etapas, tais como: aquisição de imagens, pré-processamento, extração das bordas e geração das linhas de costa em formato de *shapefile*. As fases do processo estão representadas na Figura 1 e descritas em detalhes nas subseções a seguir. A ferramenta computacional implementada neste trabalho foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação *Python* (Python, 2016), juntamente com as bibliotecas *OpenCV* (OpenCV, 2016) e *GDAL* (GDAL, 2016).

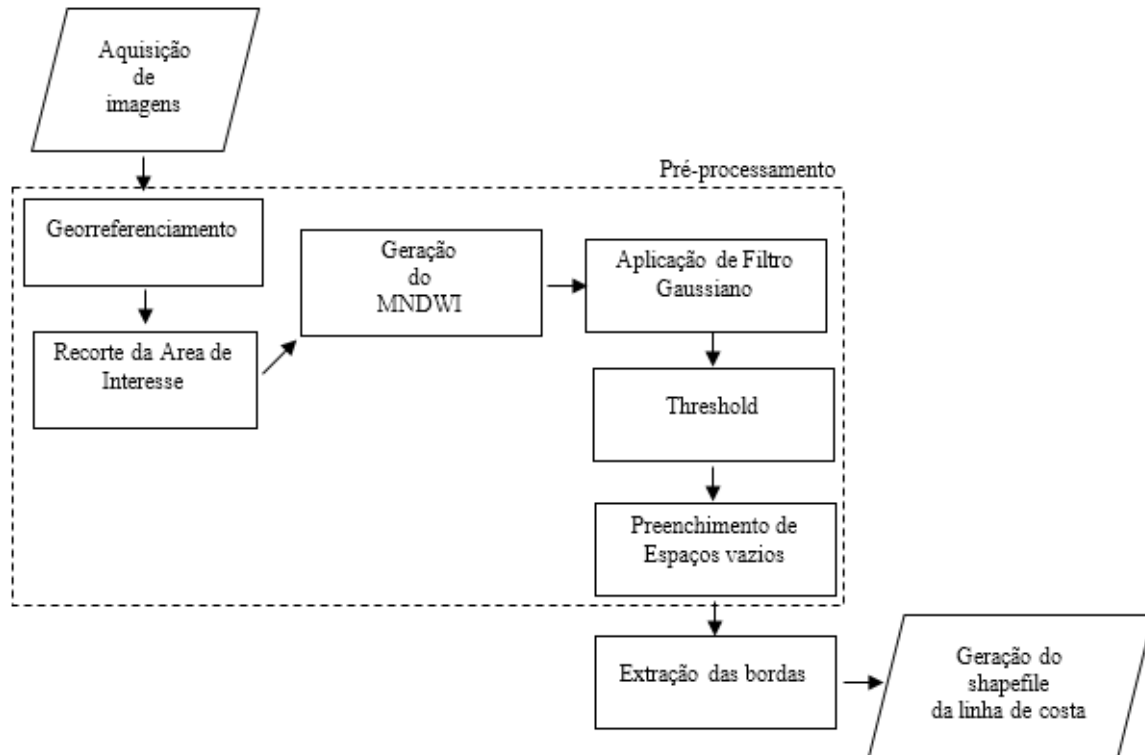


Figura 1. Fluxograma representando os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa.

2.1. Aquisição de Imagens

Neste trabalho, o município de Icapuí (CE) foi utilizado como estudo de caso. Assim, uma sequência de imagens Landsat 5 e Landsat 8, entre os anos de 1990 e 2015 foi adquirida a partir do catálogo de imagens do INPE (DGI, 2016). A Figura 2 apresenta a localização da área de estudo. Por sua vez, a Tabela 1 sumariza as informações sobre as imagens, tais como o ano de referência, a data, o satélite, as cenas e as bandas utilizadas.

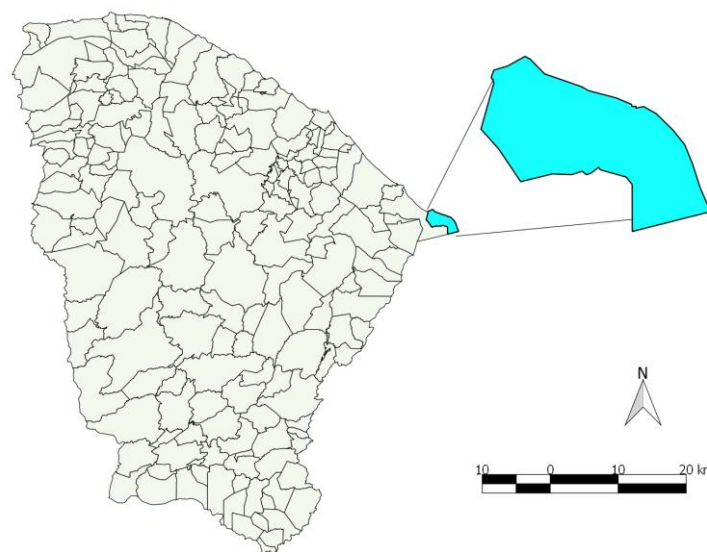


Figura 2. Localização da área de estudo.

Tabela 1. Imagens Landsat utilizadas no estudo

Ano	Data	Satélite	Cena	Bandas
1990	27/07/1990	Landsat 5	216/63	2 e 5
2000	23/08/2000	Landsat 5	216/63	2 e 5
2005	21/08/2005	Landsat 5	216/63	2 e 5
2010	15/05/2010	Landsat 5	216/63	2 e 5
2015	13/02/2015	Landsat 8	216/63	3 e 6

2.2. Pré-processamento de Imagens

As imagens de todos os anos foram pré-processadas usando as técnicas de georreferenciamento, recorte da área de interesse, geração do *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI), aplicação de filtro Gaussiano, Binarização e preenchimento de espaços vazios.

O georreferenciamento nas imagens dos anos de 1990, 2000, 2005 e 2010 foi realizado com base em uma cena do ano de 2009 obtida do *United States Geological Survey* (USGS). Para a imagem do ano de 2015 o georreferenciamento não foi necessário.

Após o georreferenciamento da sequência de imagens, todas as cenas foram cortadas para extrair apenas a área do município de Icapuí. Tal procedimento foi realizado com base nas coordenadas de canto superior esquerdo (657478, 9489816) e direito (695765, 9461566), respectivamente.

Ademais, neste trabalho, utilizou-se o MNDWI para distinguir de maneira eficiente a informação de água das outras, como: solo, edificações e vegetação (GONÇALVES *et. al.*, 2015).

O MNDWI é dado através da Equação 1 (GAUTAMA *et. al.*, 2015):

$$MNDWI = \frac{Green - Swir 1}{Green + Swir 1} \quad (1)$$

Para extrair o MNDWI das cenas Landsat 5, foram as utilizadas as bandas 2 e 5. Por sua vez, na cena Landsat 8, foi utilizado-se as bandas 3 e 6, respectivamente.

Em seguida, usando a biblioteca *OpenCV* juntamente com a linguagem Python, foram aplicadas as técnicas de filtro Gaussiano e Binarização (*Threshold*). A primeira técnica é altamente eficaz na remoção de ruído da imagem. Já a última, consiste em separar as regiões de uma imagem em duas classes, por exemplo, o fundo e o objeto de interesse.

Por último, foi necessário aplicar uma técnica de preenchimento (*flood fill*) para preencher os espaços vazios da imagem. Ela também foi implementada através da biblioteca *OpenCV*.

2.3. Extração automática das Linhas de Costa

Após serem executadas as técnicas de pré-processamento, foi necessário utilizar o algoritmo de detecção de bordas proposto por Canny (1986). Através deste algoritmo implementado no *OpenCV*, foi possível extrair apenas a linha de costa.

O último passo da metodologia foi converter a borda extraída na etapa anterior, em um arquivo vetorial no formato *shapefile*, adequado para seu uso em Sistemas de Informação Geográfica. Para esta finalidade, foi implementado um *script* utilizando a biblioteca *Shapely* (Shapely, 2016) do Python.

3. Resultados e Discussão

A partir dos procedimentos metodológicos apresentados na seção anterior, foi possível extrair o MNDWI e as linhas de costa dos anos de 1990, 2000, 2005 e 2010. A Figura 3

apresenta um dos MNDWI extraídos, representando o ano de 2010. Por sua vez, as imagens geradas em cada uma das etapas posteriores e a linha de costa resultante podem ser visualizadas na Figura 4.

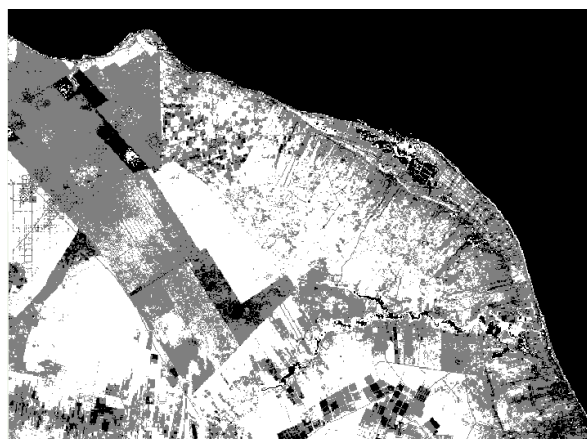


Figura 3. MNDWI extraído do ano de 2010.

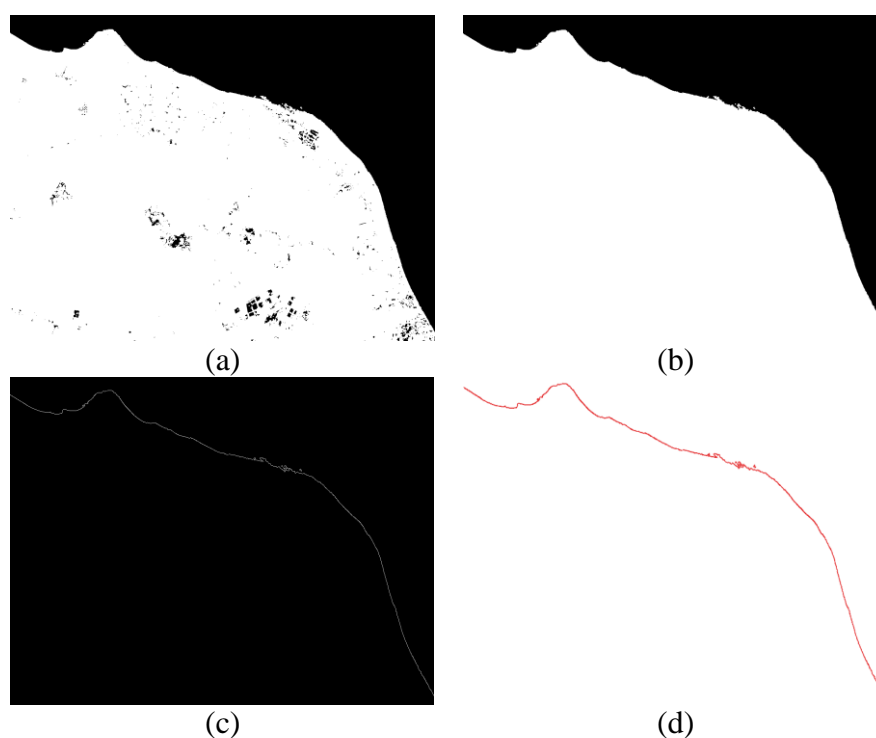


Figura 4. Resultado do processo de extração da linha de costa: (a) MNDWI após a aplicação da técnica de *Threshold*, (b) MNDWI após a aplicação de técnica de *Flood Fill*, (c) MNDWI após a extração das bordas e (d) *Shapefile* resultante da linha de costa.

Por fim, para avaliar e monitorar a evolução da degradação da zona costeira do município de Icapuí, no período de 1990 a 2010, foram utilizados os *shapefiles* das linhas de costa de todos os anos, gerados a partir do método automático. A Figura 5 apresenta as linhas de costa dos anos de 1990, 2000, 2005 e 2010, sobrepondo a cena do ano de 2015.

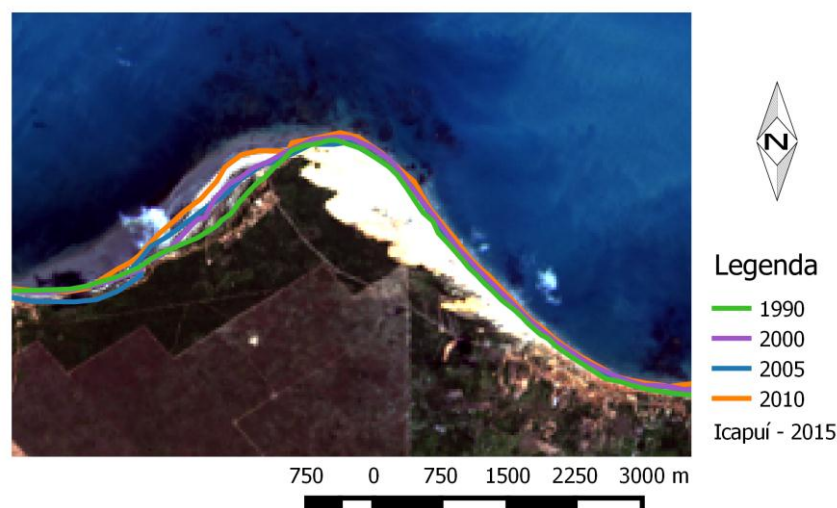


Figura 5. Linhas de costa dos anos de 1990, 2000, 2005 e 2010, sobrepondo a cena do ano de 2015.

4. Conclusões

Os resultados do trabalho mostraram que técnicas de processamento de imagem e geoprocessamento podem ser aliados de pesquisas que buscam monitorar mudanças na área costeira.

Além disso, a linguagem *Python* e as bibliotecas de tratamento de imagens *OpenCV* e *Gdal* apresentaram bons resultados na extração automática de linhas de costa.

Todavia, mais dados seriam necessários para chegar a resultados mais robustos. Uma das alternativas seria utilizar ferramentas para mensurar a evolução erosiva de uma dada região, além de utilizar dados de outros sensores.

Como trabalho futuro, pretende-se utilizar as linhas de costa extraídas como dado de entrada para algoritmos geoestatísticos com o intuito de modelar prognósticos futuros da área de estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE) por todo o apoio durante a pesquisa.

Referências Bibliográficas

Amaro, V. E. **Análise Conjunta de Dados Geológicos, Geofísicos e de Sensoriamento Remoto do Setor Extremo Nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil, Com Ênfase nas Zonas de Cisalhamento Dúcteis Neoproterozóicas.** Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 401p. 1998.

Amaro, V. E.; Araújo, A. B. **Análise Multitemporal da Morfodinâmica da Região Costeira Setentrional do Nordeste do Brasil entre os Municípios de Grossos e Tibau, Estado do Rio Grande do Norte.** Revista da Gestão Costeira Integrada, v.8(2):77-100. 2008.

Bijlsma, L.; Ehler, C. N.; Klein, R. J. T.; Kulshrestha, S. M.; Mclean, R. F.; Mimura, N.; Nicholls, R. J.; Nurse, L. A.; Pérez Nieto, H.; Stakhiv, E. Z.; Turner, R.K.; Warrick, R.A. **Coastal Zones and Small Islands. In: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses,** R.T. Watson, M.C.Zinyowera and R.H. Moss (eds.). Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, pp. 289-324. 1996.

Boori, M. S.; Amaro, V. E. **Detecting and Understanding Drivers of Natural and Environmental Vulnerability Due to Hydro Geophysical Parameters, Ecosystem and Land Use Change Through**

Multispectral Satellite Data Sets in Apodi estuarine, Northeast Brazil. International Journal of Environmental Sciences, v. 2, p. 125-139. 2010.

Boori, M. S.; Amaro, V. E. **Natural and Ecoenvironmental Vulnerability Assessment Through multi-temporal Satellite Data Sets in Apodi Valley Region, Northeast Brazil.** Journal of Geography and Regional Planning, v. 4(4), pp. 216-230. 2011.

Canny, J., A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8:679-714, 1986.

Cohen, J. E.; Small, C.; Mellinger, A.; Gallup, J.; Sachs, J. **Estimates of Coastal Populations.** Science, 278:1211-1212. 1997.

DGI. DGI - Divisão de Geração de Imagens (INPE), 2011. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

Geospatial Data Abstraction Library (GDAL). Disponível em: <<https://pypi.python.org/pypi/GDAL/>>. Acesso em: 01 jul. 2016.

Ge, L.; Li, X.; Wu, F.; Turner, I. L. Coastal erosion mapping through intergration of SAR and Landsat TM imagery. *2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS*, Melbourne, VIC, 2013, pp. 2266-2269.

Gonçalves, G.; Duroc N.; Sousa E., Figueiredo I. **Automatic Extraction Tide-Coordinated Shoreline Using Open Source Software and Landsat Imagery.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. XL-7/W3, p. 953-957, 2015.

Gautama, V. K.; Gaurava, P. K.; Murugana, P., Annadurai, M. **Assessment of Surface Water Dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, Supervised Classification and K-T Transformation.** International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, p. 739-746, 2015.

Nicholls, R. J.; Hoozemans, F. M. J.; Marchand, M. **Increasing Flood Risk and Wetland Losses Due to Global Sea-level Rise: Regional and Global Analyses.** Global Environmental Change, 9:S69-S87. 1999.

Nimer, E. **Climatologia da Região Nordeste do Brasil – Introdução à Climatologia Dinâmica.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 34(2): 3.51. 1972.

Open Source Computer Vision Library (OpenCV). Disponível em: <<http://www.opencv.org/>>. Acesso em: 21.jun.2016.

Python Software Foundation. Python Language Reference, version 2.7 (Python). Disponível em: <<https://www.python.org/>>. Acesso em: 20.jun.2016.

Rowley, R. J.;Kostelnick, J. C.; Braaten, D.; Li, X.; Meisel, J. **Risk of Rising Sea Level to Population and Land Area.** EosTransactions,88 (9):105-107. 2007.

Shapely. Disponível: <<https://pypi.python.org/pypi/Shapely>>. Acesso em: 13.ago.2016.

Souto, M. V. S. **Análise da Evolução Costeira do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, Região Sob Influência da Indústria Petrolífera.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação de Geofísica e Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.2009.