

# MÉTODOS OBTENÇÃO DA VULNERABILIDADE FÍSICA PARA MUNICÍPIOS COSTEIROS DO NORDESTE DO BRASIL

## OBTAINING METHODS OF PHYSICAL VULNERABILITY TO COASTAL MUNICIPALITIES OF NORTHEASTERN BRAZIL

Busman, Débora<sup>1</sup>; Amaro, Venerando<sup>1</sup>.  
*debbora.vieira@gmail.com*

---

### 1. INTRODUÇÃO

A zona costeira apresenta ecossistemas produtivos, dinâmicos e muito frágeis, os quais estão sob pressão tanto por atividades antrópicas quanto por processos naturais (Mahapatra et al., 2013). A maior parte da população mundial vive na região costeira, onde se mantém a tendência permanente ao aumento da concentração demográfica, sendo que pelo menos 600 milhões de pessoas vivem a até 10 m do nível do mar atual (McGranahan et al., 2007). A sustentabilidade das atividades humanas nas Zonas Costeiras depende de um meio saudável e vice-versa (Brasil, 1997) e para tanto estudos diagnósticos da vulnerabilidade física costeira se fazem necessários.

A vulnerabilidade do meio-físico natural, ou vulnerabilidade física, diz respeito à estabilidade das características físicas dos ecossistemas, tais como geologia, geomorfologia, vegetação e uso do solo, declividade e tipos de solos, de acordo com os princípios da Ecodinâmica de Tricart (Crepani et al., 2001).

O aumento do nível do mar pode provocar inundações e, por consequência, impactos ambientais e socioeconômicos na zona costeira, por exemplo, aumento da erosão e submersão de habitats naturais e de infraestruturas costeiras (Dwarakisha et al., 2009). Em muitas regiões costeiras o risco a inundação aumenta particularmente quando do efeito combinado de marés altas e fortes tempestades e/ou alta descarga de rios. Por exemplo, de 1994 a 2004 houve mais de 1500 inundações, com cerca de 120 mil mortos e 2 milhões de pessoas afetadas (McGranahan et al., op. cit.).

---

<sup>1</sup> Laboratório de Geoprocessamento, Natal-RN - UFRN/GEOPRO.

O Brasil é o sétimo país do mundo em número de habitantes na zona costeira e com maior quantidade de área de baixa elevação na zona costeira (IPCC, 2014). Considerando que para prevenir impactos a riscos naturais e perdas econômicas e humanas associadas é necessário o reconhecimento da vulnerabilidade física da zona costeira (Rangel-Buitrago & Anfuso, 2009), este estudo justifica-se por contribuir no conhecimento da vulnerabilidade física dos municípios costeiros de Macau e Guamaré, localizados no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN), com intuito de subsidiar à gestão costeira integrada destes.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo geral foi aplicar três diferentes métodos de análise de vulnerabilidade física nos municípios costeiros de Macau e Guamaré (RN), bem como avaliar os resultados obtidos.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram gerados mapas ambientais e de vulnerabilidade física a partir de dados digitais obtidos em sites de instituições de pesquisa ou ambientais brasileiros e/ou por meio de processamento em software SIG, estando todos na mesma base cartográfica na escala de 1:100.000. As vulnerabilidades físicas dos municípios de Macau e Guamaré foram analisadas por três diferentes métodos, com diferente ponderação para cada variável ambiental. Os mapas ambientais foram combinados entre si por álgebra de mapa, derivando os mapas de vulnerabilidade física Natural (VN), Ambiental (VA) e à Erosão e Inundação (VEI).

A Vulnerabilidade Natural (VN) diz respeito ao conceito de estabilidade das características físicas dos ecossistemas, tais como Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Declividade e Solos, de acordo com os princípios da Ecodinâmica de Tricart (Crepani et al., 2001). E a Vulnerabilidade Ambiental (VA) se refere à vulnerabilidade natural frente ao uso e ocupação do solo (Grigio et al. 2004).

Um terceiro mapa foi gerado, nomeado de VEI, que agrega ao mapa de Vulnerabilidade Ambiental os critérios da distância da linha de costa e da distância das margens dos rios, mapa que aponta sobre a vulnerabilidade ambiental à erosão e à inundação consequente ao aumento relativo do nível do mar.

Os dados de vulnerabilidade nestes mapas variaram de 1 a 3 (1 menos vulnerável) a 3 (mais vulnerável), (1) significando unidades mais estáveis ou menos vulneráveis, onde prevalecem processos pedogenéticos; (2) representando unidades intermediárias, em que há o equilíbrio entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas e (3) se referindo a unidades fortemente instáveis ou mais vulneráveis, prevalecendo processos morfogenéticos.

As variáveis que comporam cada método de vulnerabilidade física foram ponderadas de acordo com a escala de ponderadores de Saaty em um processo de tomada de decisão conhecido por Processo de Hierarquia Analítica (AHP, sigla em inglês), onde cada variável foi comparada às demais em uma matriz (Eastman 2012). Os pesos de compensação indicam a importância de uma variável em relação às demais (Tagliani 2003). O conjunto de dados foi analisado estatisticamente no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

#### **4. RESULTADOS**

A maior parte da área dos municípios de Macau e Guamaré foi classificada como de média vulnerabilidade nos métodos VN e VA, com exceção do método VEI. O que contribuiu para isso foi principalmente a ponderação maior do critério Declividade nestes métodos, enquanto no método VEI as ponderações de Distância da Linha de Costa e das Margens dos Rios contribuíram para a maior porcentagem da classe Baixa e Muito Baixa vulnerabilidade. Os métodos VN e VA apresentaram área acumulada das classes Alta e Muito Alta vulnerabilidade cerca de 6 e 8 vezes superior ao método VEI, respectivamente. Enquanto que o método VEI apresentou a área acumuladas das classes Muito

Baixa e Baixa cerca de 2 e 3 vezes superior aos métodos VN e VA, respectivamente. De modo que os critérios Distância da Linha de Costa e das Margens dos Rios foram responsáveis pela assimetria mais positiva do método VEI frente aos demais.

O método VN apresentou maior proporção nas classes Média (51,3%), Baixa (26,7%) e Alta (18,5%). O método VA também apresentou maior proporção na classe Média (54,4%), porém a segunda e terceira maior classes foram Alta (24,2%) e Baixa (18,7%) vulnerabilidade. No método VEI as maiores classes foram Baixa (55%), Média (35,4%) e Muito Baixa (6,2%) vulnerabilidade.

As classes Muito Baixa e Muito Alta apresentaram baixos valores em todos os métodos (<7% e <3%, respectivamente), tanto na área total quanto por município. A classe Muito Baixa chegou a 0,05% no método VA e a classe Muito Alta significou menos de 0,1 % no método VEI, chegando ao mínimo de apenas 0,01% em no método VEI aplicado em Guamaré.

A diferença entre os métodos VN e VA é a adição do critério Uso do Solo, que teve como as duas maiores classes Muito Baixa e Média vulnerabilidade. Embora este critério represente pouco mais de 10% da importância em relação aos demais, foi o responsável pelo aumento das classes de vulnerabilidade Média e Alta em relação ao método VN. Isto significa que o critério Uso do Solo é de grande importância na análise da vulnerabilidade física. Portanto, os governos municipais e os órgãos ambientais devem considerar este critério dentre os prioritários no que tange as análises das modificações temporais da vulnerabilidade física da paisagem como parte da fiscalização e ordenamento do território.

Nos métodos aplicados por município, as curvas foram equivalentes ao descrito anteriormente para a área total dos municípios, tanto que nas curvas de distribuição o método que apresentou assimetria mais positiva foi o VEI e o de assimetria menos positiva foi o VA tanto em Macau quanto em Guamaré. Houve apenas uma diferença do que foi observado na área total no método VN aplicado para o município de Guamaré, cuja área da classe média foi superior à no método VA cerca de 5,5%. Não obstante, este foi o método que apresentou maior área da classe Alta vulnerabilidade dentre todos (32%), portanto o

método que apresenta áreas mais vulneráveis. Em Macau, o método VA também foi o de maior vulnerabilidade.

Guamaré foi o município mais vulnerável por apresentar valores de vulnerabilidade Média, Alta e Muito Alta superiores à Macau. No método VA, Guamaré apresentou uma área superior que Macau em cerca de 10% na soma das classes Alta e Muito Alta vulnerabilidade. Quando analisada a classe de vulnerabilidade acumulada Alta e Muito Alta no método VEI, Macau apresentou uma área cerca de 17% superior a Guamaré, enquanto que Guamaré apresentou uma área quase 28% maior na classe Média. Macau apresentou dados de vulnerabilidade Muito Baixa e Baixa cerca de 16% (VEI MAC), 54,4% (VA MAC) e 57% (VN MAC) superiores a Guamaré. Isto é, em todos os três métodos Guamaré foi mais vulnerável.

## **5. DISCUSSÃO**

Estes resultados indicam que a escolha do método de análise de vulnerabilidade deve ocorrer de acordo com diretrizes específicas para o tipo de análise que se pretende, uma vez que as respostas de um método podem ser discrepantes às de outro, não significando necessariamente erro de análise, apenas que como estas são ferramentas de auxílio à tomada de decisões devem, portanto, estar reguladas segundo diretrizes quanto ao que se pretende gerir, tanto ao se discernir na escolha das variáveis, quanto dos respectivos pesos. As diferenças nos resultados entre os municípios de Macau e Guamaré demonstram a necessidade de ser o município a menor célula de análises de vulnerabilidade, como corroborado pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II, Brasil 1997 e 2004).

O estudo de vulnerabilidade física se faz muito importante na região de Macau e Guamaré não só por serem municípios costeiros e, portanto, sendo áreas mais sujeitas à erosão e inundação, mas principalmente pela configuração da paisagem, onde os principais usos socioeconômicos são pelas indústrias do Petróleo e Gás, Carcinicultura, Salinicultura e a Eólica, em uma região de mosaico de ecossistemas ambientalmente vulneráveis, como mangues (Grigio

et al. 2004; Boori & Amaro 2010; Matos et al. 2013; Santos & Amaro 2013), além das cidades e povoados. Os múltiplos conflitos de uso precisam de ordenamento baseado em conhecimento de multicritérios, tal qual o abordado neste estudo. Ainda mais ao se considerar que as áreas de Muito Alta vulnerabilidade ficaram confinadas a menos de 10 km da linha de costa.

Grigio et al. (2004) aplicaram o mesmo método de Vulnerabilidade Natural e Ambiental para o município de Guamaré, porém a vulnerabilidade natural apresentou classes Média, Alta e Muito Alta com maior área que as do método vulnerabilidade ambiental, diferente do encontrado neste estudo. Boori & Amaro (2011) também analisaram a vulnerabilidade natural e ambiental da região do estuário do rio Apodi-Mossoró segundo a mesma metodologia e da mesma maneira encontraram vulnerabilidades maiores no método VN. O motivo em ambos os casos foi a diferente ponderação dos pesos dos critérios. Esta etapa de ponderação é muito subjetiva e um diferencial deste estudo foi diminuir a subjetividade por incorporar no processo de ponderação a Análise Hierárquica Analítica.

## **6. CONCLUSÃO**

Analisar a vulnerabilidade de um sistema não é uma tarefa simples, pelo fato de que tal análise depende de muitas e diferentes variáveis e nenhum instrumento utilizado pode com total precisão solucionar esta questão. Por isso a importância de se buscar e testar variáveis e métodos que melhor respondam aos objetivos propostos e às especificidades do que se pretende gerir.

As ponderações das variáveis foram de grande importância para as diferentes análises de vulnerabilidade e a adição de novas variáveis e novas ponderações nos diferentes métodos modificaram fortemente tanto a quantidade quanto a distribuição espacial das áreas nas classes de vulnerabilidade. Por isso a importância em se conhecer ao máximo a área que será gerida e em se replicar e testar diferentes métodos de vulnerabilidade física antes da escolha das variáveis.

A variável Uso do Solo foi responsável pelo aumento das classes de

vulnerabilidade Média e Alta no método de vulnerabilidade ambiental. Isto demonstra que é de grande importância na análise da vulnerabilidade física de um município, costeiro ou não. Portanto, deve constar em qualquer análise de vulnerabilidade física.

Embora o objetivo desta pesquisa não tenha sido definir qual o melhor método de análise de vulnerabilidade, uma vez que disto depende a área que será estudada bem como as variáveis e pesos que serão definidos por diretrizes específicas a cada gestão, a comparação entre diferentes métodos é interessante e mesmo importante para a gestão integrada, já que permite verificar as diferentes áreas de vulnerabilidade. Como exemplo, o método vulnerabilidade ambiental à erosão e inundação (VEI), criado especificamente para este estudo, apresentou informações sobre as áreas hotspots de erosão e inundação, informações estas de grande importância para a gestão integrada da zona costeira.

## 7. REFERÊNCIAS

- BOORI, M. S; AMARO, V. E. Land use change detection for environmental management: using multi-temporal, satellite data in Apodi Valley of Northeastern Brazil. **Applied GIS**, v. 6, n. 2, 2010. p. 1-15.
- BOORI, M.S; AMARO, V.E. A Remote Sensing Approach for Vulnerability and Environmental Change in Apodi Valley Region, Northeast Brazil. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, 2011. p. 17-25.
- BRASIL. Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II**. Brasília, DF, 1997. 8p.
- BRASIL. **Decreto Nº 5.300/2004**. Regulamenta a Lei no 7.661. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5300.htm). 2004.
- CREPANI, E; de MEDEIROS, J.S; HERNANDEZ, P; FLORENZANO, T.G; DUARTE, V; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos. SAE/INPE, 2001. 103 p.
- DWARAKISHA G.S; VINAYA S.A; NATESANB U; ASANOC T; KAKINUMAC T; VENKATARAMANAD K; PAIA B.J; BABITAA M.K. Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udipi coastal zone of Karnataka state, west coast of India. **Ocean & Coastal. Management**. Volume 52, Issue 9, September, 2009. p. 467-478.

- EASTMAN, J.R. **IDRISI Selva - Guia para SIG y Procesamiento de imágenes**. Manual version 17, 2012. 321p.
- GRIGIO, A.M; CASTRO, A.F. de; SOUTO, M.V. da S; AMARO, V.E; VITAL, H. Use of remoting sensing and geographical information system in the determination of the natural and environmental vulnerability of the Municipal District of Guamaré - Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, 2004, p. 293-298.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **IPCC WGII AR5 Summary for Policymakers - Phase I Report Launch**. March 2014. 44p.
- MAHAPATRA, M., RATHEESH, R. and RAJAWAT, A.S. Sea Level Rise and Coastal Vulnerability Assessment: a review. **International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences** ISSN: 2277-2081 (Online). v.3 n. 3, September-December, 2013. p. 67-80.
- MATOS, M.F.A; FORTES, C.J.E.M; AMARO, V. E; SCUDELARI, A.C. Análise Comparativa da Agitação Obtida com o Modelo Numérico (SWAN) na Modelagem de Ondas do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e Dados de Campo. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, 2013. p. 1-17.
- MCGRANAHAN, G; BALK, D; ANDERSON, B. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environment & Urbanization**. Copyright © International Institute for Environment and Development (IIED). V. 19 n. 1, 2007. p. 17-37.
- RANGEL-BUITRAGO, N; ANFUSO, G. Assessment of Coastal Vulnerability in La Guajira Peninsula, Colombian Caribbean Sea. **Journal of Coastal Research**, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium). Lisbon, Portugal, ISSN 0749 – 0258, 2009. p. 792-796.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>. 2010.
- SANTOS, M.S.T; AMARO, V.E. Dinâmica sazonal de processos costeiros e estuarinos em sistema de praias arenosas e ilhas barreira no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.2, (Abr-Jun), 2013. p.151-162.
- TAGLIANI, C.R.A. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. In: Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril, INPE, 2003. p. 1657 - 1664.