

METODOLOGIA GEODÉSICA PARA LEVANTAMENTO DE LINHA DE COSTA E MODELAGEM DIGITAL DE ELEVAÇÃO DE PRAIAS ARENOSAS EM ESTUDOS DE PRECISÃO DE GEOMORFOLOGIA E DINÂMICA COSTEIRA

Soares Teles Santos, M. (UFRN) ; Eustáquio Amaro, V. (UFRN) ; Luis Silva dos Santos, A. (UFRN) ; Ferreira, A.T.S. (UFRN)

RESUMO

Este trabalho apresenta metodologia geodésica desenvolvida para levantamento, geração e avaliação de Linhas de Costa e Modelos Digitais de Elevação de litorais arenosos. A metodologia permite a repetição dos levantamentos nas mesmas condições de maré e com os mesmos referenciais geodésicos, sendo adequada para a comparação multitemporal de levantamentos no domínio espacial e temporal e de grande potencial em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira.

PALAVRAS CHAVES

Linha de Costa; MDE; Monitoramento Costeiro

ABSTRACT

This paper presents geodetic methodology developed for survey, generation and assessment of coastline (CL) and Digital Elevation Models (DEM) of sandy littoral. The methodology allows the repetition of surveys in same conditions of tide and with same geodetics references, what is a suitable way for multitemporal comparison of surveys conducted in space and time domain and of great potential in studies of precision of geomorphology and coastal dynamics.

KEYWORDS

Coastline ; Digital Elevation Model ; Coastal monitoring

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta metodologia geodésica desenvolvida para levantamento de Linha de Costa (LC) e geração de Modelo Digital de Elevação (MDE) de litorais arenosos para estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira (erosão/acrescimento sedimentar). Os métodos geodésicos utilizados - posicionamento e altimetria por GNSS (Global Navigation Satellite Systems) - permitem a determinação das coordenadas geodésicas e das altitudes ortométricas dos pontos amostrais definidores das LC e dos MDE, com precisão de poucos centímetros em relação aos referenciais planimétrico e altimétrico adotados oficialmente pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). O indicador de LC foi definido como o limite de espraiamento das ondas na face de praia na maré de quadratura em preamar, mensuradas in situ. O método é adequado para monitoramento de áreas com intensa dinâmica costeira, onde os processos erosivos e acrescionais ocorrem na escala temporal intra anual conforme os ciclos anuais de construção e destruição das praias e modificam a morfologia da costa sazonalmente, em curto intervalo de tempo. Nesses casos, o monitoramento das pequenas variações costeiras sofre influência das condições de maré e da precisão posicional da LC, o que requer levantamentos com boa precisão e alta resolução espaço-temporal, além de indicador de LC adequado. Para avaliar a metodologia proposta, um estudo de caso é apresentado em um trecho localizado no sistema de praias arenosas (Soledade e Minhoto), ilhas barreiras (Ponta do Tubarão e Fernandez) e canais de maré intermitentes no Litoral Setentrional do RN, entre os municípios de Macau e Guamaré, caracterizado pela intensa ação de processos costeiros, tais como transporte eólico e litorâneo, erosão generalizada, alterações no balanço de sedimentos, variações na LC, abertura e fechamento de canais de marés, e formação de ilhas barreiras, que interfere nas atividades industriais localizadas na zona de praia (Souto et al., 2004; Grigio et al., 2005).

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia possui as seguintes características: boa precisão, referencial geodésico unívoco, fixo e relativamente estável no tempo, e indicador de LC que represente o alcance máximo da linha d'água sobre o perfil de praia (preamar) em uma maré específica (Santos, 2011). As coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude geométrica) e as altitudes ortométricas dos pontos amostrais definidores das LC e dos MDE foram determinadas pelo posicionamento e altimetria por GNSS no modo relativo cinemático (Monico, 2007; Seeber, 1993) a partir de estações da RGLS (Rede GNSS do Litoral Setentrional do Estado do RN), implantadas na área de estudo para fornecer linhas de base curtas (menores do que 3,5 km) ao posicionamento GNSS e que possuem coordenadas geodésicas e altitudes ortométricas de precisão (Santos, 2011). Os receptores utilizados em campo foram do modelo Trimble R3 que possuem precisão nominal horizontal de 5 mm + 1 ppm e vertical de 5 mm + 2 ppm com as observações da fase da onda portadora na frequência L1. O receptor móvel foi acoplado a um quadriciclo motorizado e programado para coletar dados no modo cinemático em função do tempo e com intervalo de gravação de dados de 1s, o qual proporciona uma densidade de 3.600 pontos/hora. No levantamento das LC foram coletados pontos topográficos planialtimétricos ao longo dos perfis longitudinais que a definem. Neste trabalho, a LC foi definida como o alcance máximo da linha d'água na maré de quadratura em preamar, como em Souto et al., 2004. Nos levantamentos das superfícies de praia foram coletados pontos topográficos planialtimétricos em perfis representativos das feições morfológicas geralmente encontradas nas áreas costeiras, que incluem toda a praia emersa, como em Baptista et al. (2008). Os MDE foram gerados pela interpolação por triangulação com uso da técnica TIN (Triangulated Irregular Network) e o controle de qualidade a partir de 30 pontos de controle localizados na área de estudo (Santos, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia utilizada na área de estudo permitiu o levantamento de LC e a modelagem digital de elevação de extensos trechos litorâneos em um tempo relativamente curto e com boa precisão. A análise dos dados quantitativos permitiu mensurar o grau de produtividade da metodologia utilizada: a área de 2.763.721,79 m² e perímetro de 64.956,76 m foram levantados em aproximadamente 10 h 30 min., distribuídas em 3 dias e com um total de 27.359 pontos amostrais, resultando em densidades de 43,41 pontos/minuto ou 98,96 pontos/hectare. Esta alta produtividade na aquisição de dados só foi possível principalmente devido ao método de posicionamento adotado (relativo cinemático com intervalo de gravação de dados de 1s) e ao veículo quadriciclo utilizado, que permitiram o rastreamento contínuo dos dados GNSS ao longo do trajeto do veículo. Além da alta produtividade, destacou-se a boa precisão com o posicionamento GNSS pelo método relativo cinemático. Nas quatro áreas levantadas, os erros padrões estimados nos processamentos de dados GNSS foram de em N, em E, e em h. Os bons resultados obtidos mostram que os parâmetros utilizados, tais como duração da sessão, comprimento da linha de base, tipo de receptores e método de aquisição e processamento foram adequados para se obter boa precisão. No controle de qualidade dos MDE, que avalia a combinação das diferentes fontes de erros sistemáticos na modelagem digital de elevação, os resíduos obtidos entre as altitudes de referência e dos modelos, nos 30 pontos de controle, apresentaram as seguintes estatísticas: : média de -0,024 m, desvio padrão de 0,158 m, mínimo de -0,307 m, máximo de 0,217 m e amplitude de 0,524 m. De acordo com a classificação de documentos cartográficos, para um nível de confiança de 90 %, os MDE foram classificados como classe A em termos de acurácia e precisão, além de estarem livres de tendência. A partir dos MDE, foi possível extrair dados quantitativos, tais como área e perímetro emersos, volume de sedimentos acima do nível médio do mar e frequências das altitudes. Ainda, observou-se que o relevo da área é relativamente plano, com altitude mínima de 0,513 m na Ilha do Fernandez e máxima de 6,004 m na Praia do Minhoto, ou seja, diferença de nível máxima de 5,491 m. No entanto, na maioria dos trechos, as frequências das altitudes para o período se localizaram entre 1 e 3 m. Na análise qualitativa, foi possível identificar as formas morfológicas e os padrões de distribuição espacial do relevo em cada trecho modelado. Quanto à forma, foram modeladas as principais feições morfológicas típicas de zonas de praia, tais como perfis de praia emersa, bermas e cristas de bermas, dunas frontais e campos de dunas, planos horizontais e inclinados, depressões e elevações, além de feições morfológicas sob erosão, como escarpas em bermas e dunas frontais.

Quanto à distribuição espacial, foram observados comportamentos diferentes nas praias e ilhas modeladas, principalmente com relação à presença de campos de dunas e à exposição às ondas de mar aberto. Portanto, em uma área peculiar como a modelada, dinâmica, de grandes dimensões e com desníveis relativamente baixos, realçar comportamentos do relevo não é uma tarefa fácil. As análises qualitativas e quantitativas do relevo da área só foram possíveis devido à boa precisão dos modelos, que está relacionada principalmente à precisão do posicionamento GNSS e à quantidade e distribuição espacial dos pontos amostrais levantados em campo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos de avanços metodológicos, as características da metodologia apresentada e os resultados obtidos mostram que ela tem amplo potencial nos estudos da morfodinâmica costeira de alta resolução espaço-temporal. O georreferenciamento dos MDE em relação ao SGB (unívoco, fixo e relativamente estável no tempo) permite que os levantamentos sejam realizados sempre na mesma referência geodésica, o que possibilita a comparação multitemporal dos modelos. A precisão alcançada nos modelos permitiu a modelagem de feições morfológicas de dimensões decimétricas, o que mostra ser possível o monitoramento de variações morfológicas no mesmo nível de detalhe em que foram modeladas. Por último, o indicador de LC permite que os levantamentos temporais sejam realizados sob as mesmas condições de maré. Assim, se realizado de maneira sistemática no tempo, os modelos podem ser utilizados em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada por projetos de pesquisa da Rede Cooperativa de Pesquisa Norte-Nordeste de Monitoramento de Áreas sob Influência da Indústria Petrolífera (REDE 05 - PETROMAR, CTPETRO - FINEP/PETROBRAS/CNPq): HIDROSEMA, MOLECO e CRONALOG. Os autores agradecem ao Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia da UFRN (GEOPRO), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo (PPGCEP/UFRN), e à CAPES pela concessão de Bolsa de Doutorado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- BAPTISTA, P.; BASTOS, L.; BERNARDES, C.; CUNHA, T.; DIAS, J.A. Monitoring Sandy Shores Morphologies by DGNS — A Practical Tool to Generate Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, v.24, n.6, p.1516-1528, 2008.
- GRIGIO, A.M.; SOUTO, M.V.S.; CASTRO, A.F.; AMARO, V.E.; VITAL, H.; DIODATO, M.A. Method of analysis of the coastline evolution based in remote sensing and geographical information system products: Guamaré District Rio Grande do Norte - Northeast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 42, n.2, p.412- 421, 2005.
- MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora Unesp, p.477, 2007.
- SANTOS, M.S.T. Contribuição da Geodésia ao Monitoramento Costeiro do Litoral Setentrional do RN, área da Indústria petrolífera. 2011. 154f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, methods and applications*. Walter de Gruyter, N. York, p.531, 1993.
- SOUTO, M.V.S.; CASTRO, A.F.; GRIGIO, A.M.; AMARO, V.E.; VITAL, H. Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. *Journal of Coastal Research*, v.39, p.1618-1621, 2004.