



Aplicação de metodologia alternativa para localizar e monitorar linhas de costa usando técnicas de posicionamento pelo GNSS: Um estudo de caso na praia de Sauaçui, Nordeste do Brasil *

Application of alternative methodology to locate and to monitor shoreline using positioning techniques for GNSS: A case study in the Sauaçui beach, Northeast of Brazil

César P. Rocha^{1, 2}, Tereza Cristina M. Araújo², Francisco Jaime B. Mendonça³

RESUMO

A dinâmica de interface entre o mar e o continente, a inconsistência de alguns indicadores e a dificuldade em estabelecer a correlação entre os referenciais verticais são fatores que dificultam a comparação dos estudos sobre a localização geográfica das linhas de costa. Esse trabalho teve por objetivo localizar e monitorar a evolução da linha de costa em curto período, em uma área de intensa erosão no litoral norte do estado de Alagoas, costa Nordeste do Brasil. Para esse propósito, foram comparados os traçados de um trecho da linha de costa da praia de Sauaçui, nos anos 2006, 2007 e 2008, usando o mesmo padrão de procedimentos, ou seja, a mesma metodologia, o mesmo indicador e o mesmo referencial vertical. O indicador de linha de costa adotado foi à curva de nível 2,9m acima do referencial de nível das marés e foi estabelecido com base na máxima HWL (High Water Line), ocorrida nessa região nos últimos 20 anos (2,7m), acrescida do runup (0,2m).

Os DEMs (Digital Elevation Model) da área de estudo foram gerados em um programa interpolador com base nos perfis de praia e o monitoramento consistiu em sobrepor os DEMs dos referidos anos para observar as variações no traçado da linha de costa em alguns seguimentos da área monitorada. No seguimento sul, observou-se uma retração de 7,0m no período 2006/2007, que regrediu para 2,0m no período 2007/2008. No seguimento centro-norte, observou-se uma regressão de 8,0m no período 2006/2007, que regrediu para 6,0m no período 2007/2008. O seguimento norte manteve-se estável no período observado.

1 autor correspondente: rochacp@gmail.com.

2 Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia, Avenida da Arquitetura, S/N, Cidade Universitária – Recife, PE, Brasil. CEP 50670-901

3 Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica, Avenida da Arquitetura, S/N, Cidade Universitária – Recife, PE, Brasil. CEP 50670-901

Em linhas gerais, o comportamento da linha de costa em Sauaçu reflete variações sazonais, com predominância de recuo no setor centro-norte. Esse comportamento está sendo influenciado pela proximidade da desembocadura do rio Sauaçu e os conseqüentes desvios das correntes e das ondas causados pela presença dos obstáculos interpostos pelos proprietários das residências de veraneio, que impedem a evolução natural da linha de costa e alteram o grau de vulnerabilidade da praia nas áreas circunvizinhas.

O rendimento dos trabalhos de campo foi da ordem de 1,2km/h e poderá ser melhor se o trabalho tiver por objetivo específico reproduzir e monitorar a linha de costa, pois nesse caso os perfis de praia poderão ser encurtados.

Palavras-chave: GPS; HWL; datum; vdata; runup; elipsóide; geóide; linha de costa; Brasil.

ABSTRACT

The interface dynamics between the sea and the continent, the inconsistency of some indicators, and the difficulty related with establishing the co-relation between vertical referential are factors that hamper the comparison of the studies related to the shoreline geographic localization. This research aimed to locate and to monitor the shoreline displacement in a short period of time, in an erosion hot spot area in the North littoral of the Alagoas state of, in the northeast coast of Brazil. To accomplish this purpose, using the same procedure pattern, the 2006, 2007 and 2008 plot of a space of the shoreline of Sauaçu beach were compared, in other words, the same methodology, indicator and vertical referential were used for the comparison. The adopted shoreline indicator was the curve, of level 2.9m beyond the tidal levels, and it was established based on the maximum HWL (High Water Line), occurred in this region in the last 20 years (2.7m), added the runup (0.2m).

At the study area a DEM (Digital Elevation Model) was generated in an interpolator program, based on the beaches profiles produced using GPS three-dimensional placement technique, whose heights (ellipsoids) were reduced to the benchmark tidal level. The identification of the shoreline in the DEM of each monitoring year was made by height equivalence, selecting the correspondent line level with the model generated by the interpolator. As the DEMs surfaces are related with the sea level referential, they are used to simulate the dislocation of the water line upon the beach face. The monitoring consisted in overlapping the DEMs of the mentioned years and observing the variations on the shoreline plot in some monitored area segments. In the South segment, a 7m retreat was observed, during the period of 2006/2007, which retreat to 2m in the period of 2007/2008. In the Center-North segment, an 8m retreat was observed, during the period of 2006/2007, which retreat to 6m in the period of 2007/2008. The North segment has remained stable during the observed period.

In general lines, the behavior of the shoreline in Sauaçu reflects seasonal variations, with prevalence of retreat in the Center-North section. This behavior is being influenced by the proximity of the Sauaçu river mouth, and the subsequent currents deviation caused by the presence of the obstacles interposed by the summer vacation houses owners in the central part of the monitored area. These obstacles hamper the shoreline natural evolution and change the beach vulnerability degree in the surrounding areas. The trends of seasonal displacement of this shoreline and the human activities developed there, suggest the need of monitoring this beach for a longer time, in order to quantify the velocity and certificate the displacement tendency of its shoreline.

The field work profit was 1.2km/h and it could be better if the work has as specific objective reproducing the shoreline, because, in this case, the beaches profiles can be shortened, reducing the operators route, who carries the GPS antenna. However, it is necessary to ensure that each DEM contains the level curve of equivalent height to the shoreline, in other words, it is necessary that the height of the superior and inferior limits of the beaches profiles are, respectively, lower and greater than the height established to the shoreline (2,9m beyond the referential of tide level, in this case), which approximated representation, in the field, correspond to the highest marks left by the waves sprawl.

Keywords: GPS; HWL; Datum; Vertical data; runup; Ellipsoid; Geoid; Shoreline; Brazil.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da posição geográfica da linha de costa é fundamental para o adequado gerenciamento dos espaços costeiros. Entretanto, a combinação de fenômenos naturais com atividades antrópicas, pode tornar a feição costeira extremamente dinâmica. Entre os elementos naturais que concorrem para a transformação desse ambiente destacam-se as tempestades e as correntes marinhas,

cujos efeitos dependem da geomorfologia costeira. De acordo com a sua natureza e objetividade, atividades antrópicas como as obras de engenharia costeira em geral e o extrativismo mineral ou vegetal podem conter ou catalizar a ação dos citados agentes naturais (Esteves et al., 2003).

A localização e o monitoramento da linha de costa dessa pesquisa foram feitos com base em coordenadas geográficas tridimensionais da face de praia, determinadas com técnicas de posicionamento pelo

GPS (Global Positioning System). O sistema GPS é um dos sistemas de posicionamento que utilizam a tecnologia GNSS (Global Navigation Satellite System) e pode gerar posicionamentos no modo dinâmico relativo, com precisão de poucos centímetros. Essa tecnologia já vem sendo aplicada em programas de gerenciamento costeiro em várias partes do mundo. Entretanto, as alturas geradas pelo GPS são elipsoidais e representam um problema para o uso desse sistema em aplicações que envolvem altitudes, como é o caso das linhas de costa, que são relacionadas com o nível do mar.

Atualmente, técnicas de grande capacidade de rastreio, como o sistema ALS (Airborne Laser Scanning), vem sendo testadas como ferramentas de apoio ao gerenciamento costeiro. De acordo com Baptista et al. (2008a), com o uso do sistema ALS é possível reproduzir grandes superfícies com precisão submétrica. Entretanto, sua aplicabilidade ainda é muito limitada pelo alto custo, principalmente no monitoramento de áreas com acentuada morfodinâmica, como é o caso da faixa costeira.

Em se tratando de linha de costa, independentemente do método ou da técnica usada para o seu monitoramento, um dos agravantes é a variedade de indicadores que comumente são usados para representá-la, tais como: crista de praia, linha de espraiamento das ondas, MHW (Mean High Water), HWL (High Water Line) e linha de contorno da vegetação de praia. Estes indicadores são listados em várias pesquisas, como por exemplo: Leatherman (2003); Moore et al. (2006); Morton & Speed (1998); Pajak & Leatherman (2002); Parker (2003); Rocha et al. (2008); Zhang et al. (2002). Contudo, alguns desses indicadores, devido a sua inerente metamorfose, precisam estar referidos no tempo e no espaço, como é o caso da MHW e da HWL; outros são sazonais e/ou descontínuos, variando de acordo com a geomorfologia da praia, como é o caso das marcas deixadas pelo espraiamento das ondas, linha de contorno da vegetação, crista de praia, etc, que só podem ser aplicados em praias específicas, onde suas marcas permanecerem nítidas. Por isso, é importante observar que entre os indicadores de linha de costa citados anteriormente, a linha de espraiamento das ondas, ou seja, a HWL adicionada do runup vem se firmando como o mais compatível, pois representa o

limite efetivo de alcance da linha d'água. Provavelmente devido a isto, Graham et al. (2003), Moore et al. (2006), Pajak & Leatherman (2002) e Rocha et al. (2008), optaram por este indicador.

O objetivo desse estudo foi testar a metodologia proposta em Rocha et al. (no prelo) para localizar a linha de costa na praia de Sauaçui com base na máxima HWL dos últimos vinte anos, relativa ao porto de Maceió, no Estado de Alagoas, acrescida do run-up e avaliar a evolução dessa linha em um intervalo dessa praia com acentuada dinâmica de transformação, no período 2006/2008.

2. METODOLOGIA

2.1. Localização do experimento

Esse experimento foi realizado na praia de Sauaçui, situada no município de Paripueira, pertencente ao Estado de Alagoas, região Nordeste do Brasil (figuras 1 e 2).

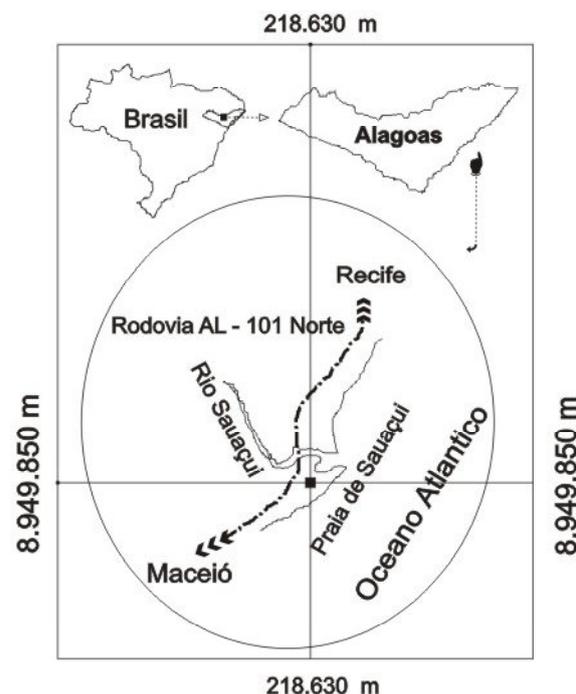


Figura 1. Esboço de localização da área de estudo. Coordenadas UTM, referidas ao elipsóide SAD 69.
Figure 1. Outline of the location of the study area. Coordinate UTM, referred to the SAD 69 ellipsoid.



Figura 2. Foto da área de estudo.
Figure 2. Illustration of study area.

Uma parte considerável da região costeira local é constituída de terrenos sedimentares elevados, devido à formação do Grupo Barreiras e suas falésias litorâneas, em cuja composição geológica há predominância de lato-solos vermelho-amarelo eutróficos, formados durante os períodos Cenozóico e Mesozóico. Na região da área de estudo, como ocorre em grande parte do litoral nordeste brasileiro, há uma formação quase contínua de recifes que ajudam a dissipar a energia das ondas (Muehe, 1996).

A linha de costa da área monitorada é afetada pela desembocadura do Rio Sauaçu que fica a aproximadamente 0,6 km ao norte dessa área e pelas atividades antrópicas desenvolvidas pelos proprietários das residências de veraneio, em virtude dos problemas de erosão localizada que vinham ocorrendo na parte da praia, que se confronta com essas residências. Por conta disso, surgiram medidas isoladas para conter a linha de costa, numa tentativa de evitar grandes prejuízos materiais. Essas medidas constituíram-se na colocação de pedras sem aglomerante e na edificação de alguns muros de contenção, distribuídos aleatoriamente ao longo de aproximadamente 80 m, sobre os quais as ondas arrebatam nas marés altas de sizígia. Há suspeitas de que essas improvisações possam estar contribuindo para pressionar o comportamento da linha de costa nas áreas adjacentes, como já foi citado na literatura referida a outras localidades, como por exemplo, Esteves et al. (2003).

2.2. Georreferenciamento da área de estudo

A primeira etapa dos trabalhos de campo consistiu na implantação de um marco de concreto na região do experimento. Esse marco foi edificado segundo as especificações do IBGE (instituto brasileiro de geografia e estatística) para os marcos do SGB (sistema geodésico brasileiro), de modo a atender aos padrões técnicos necessários para georreferenciamentos de precisão. Em seguida, tomando por base as coordenadas do marco Sauaçu, fez-se a coleta dos dados no interior da área de estudo nos anos de 2006, 2007 e 2008, para fins de gerar os perfis dessa praia, como também associar as alturas desses perfis, geradas pelo GPS, ao referencial de nível das marés. Como essa associação é feita através da identidade do referencial de maré com o datum elipsoidal, faz-se necessário conhecer a altura de maré e a altura do GPS em um mesmo ponto. Por isso, ao menos uma vez, durante a coleta dos dados, a antena do receptor do GPS precisa ser posta sobre a linha d'água. O registro desse momento servirá para identificar qual a altura de maré correspondente àquela altura do GPS (elipsoidal). De acordo com Rocha et al. (no prelo), no dia 16 de Setembro do ano de 2006 essas informações indicaram que a altura elipsoidal da antena do GPS sobre a linha d'água, no instante em que a maré estava na cota 0,983 m seria 19,713m. A identificação entre essas alturas constitui-se no tangenciamento entre os data tidal e elipsoidal, no ponto em que os dados foram coletados e cuja diferença, representa uma constante de redução que deve ser adicionada algebricamente a todas as alturas dos perfis de praia geradas pelo GPS, para reduzi-las ao referencial de nível das marés. Dessa forma, os DEMs gerados com base nas coordenadas tridimensionais desses perfis representam a face da praia sobre a qual a linha d'água se desloca livremente.

Nos anos seguintes, esses dados foram coletados no dia 18 de Março de 2007 e no dia 19 de Abril de 2008, quando foram registradas as respectivas alturas tidais e elipsoidais (ver tabela 1).

Ao processar os dados do GPS correspondentes aos pontos que compõem os perfis de praia obtem-se, originalmente, pontos coordenados (E_i ; N_i ; h_i) dos respectivos anos em que os dados foram coletados, onde (E_i ; N_i), são as coordenadas geográficas Leste e Norte, expressas no formato do sistema plano

Tabela 1. Constantes de redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés.

Table 1. GPS heights reduction constants to the referential of tide's levels.

Anos	Alturas GPS h (m)	Altura maré A (m)	C ^{te} de red. k (m)	Ob.:
2006	19,713	0,983	18,730	16:35 ^{hs} , 16/09/2006
2007	18,460	0,160	18,300	09:00 ^{hs} , 18/03/2007
2008	19,277	0,610	18,667	10:42 ^{hs} , 19/04/2008

retangular UTM (Universal Transverso de Mercator) e (h_i) são as alturas GPS referidas ao elipsóide SAD 69 e que nesse estudo serão reduzidas ao referencial de nível da maré, através da adição algébrica da constante de redução (k_i), conforme consta da Tabela 1. Dessa operação resultam pontos coordenados (E_i ; N_i ; h'_i), onde (h'_i) são as alturas dos pontos dos perfis de praia, agora referidos ao nível de redução das marés (Tabela 2), na qual os pontos coordenados representam os perfis de praia do respectivo ano do monitoramento, cuja arquitetura de caminhada contempla a face de praia, desde a linha d'água até ultrapassar a altura da suposta linha de espraio das ondas (figura 3).

2.3. Veículo transportador da antena do GPS

A metodologia aqui utilizada identifica a linha de costa entre as curvas de nível do DEM da área de

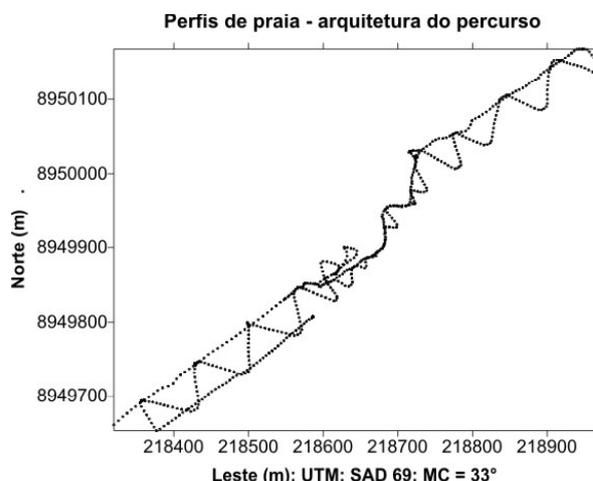


Figura 3. Amostragem da arquitetura da distribuição dos perfis de praia. Os DEMs serão gerados com base nos pontos coordenados desses perfis.

Figure 3. Sampling of the beaches' profiles distribution architecture. The DEMs will be generated based on the points coordinated in those profiles.

estudo, o qual, por sua vez será gerado com base nos perfis de praia, estabelecidos por técnicas de posicionamento tridimensional pelo GPS. Para gerar esses perfis, uma das antenas do receptor GPS foi conduzida sobre essa área, coletando dados no modo dinâmico relativo, enquanto a segunda antena permanecia sobre o marco de concreto, edificado na

Tabela 2. Demonstrativo de alguns pontos coordenados dos anos 2006, 2007 e 2008, cujas alturas GPS (h_i) foram reduzidas para o referencial de nível das marés (h'_i).

Table 2. Demonstrative of some coordinated points in the years 2006, 2007 and 2008, whose GPS heights (h_i) were reduced to the referential of tide's levels (h'_i).

Leste	Norte	(h'_i)	(h_i)	(k_i)	Coordenadas: UTM - Zona 25
218.586,042	8.949.807,469	0,983	19,713	18,730	Início do levantamento: NA = 0,983m
218.370,180	8.949.663,664	1,595	20,325		
218.360,052	8.949.680,118	2,252	20,982		
218.354,784	8.949.690,903	2,904	21,634		2006 Amostragem de um total de 652 points
218.357,043	8.949.693,388	3,080	21,810		
218.629,557	8.949.818,097	0,220	18,520	18,300	Início do levantamento: NA = 0,160m
218.630,908	8.949.814,806	0,160	18,460		
218.628,018	8.949.813,787	0,138	18,438		2007 Amostragem de um total de 642 points
218.602,541	8.949.821,600	0,610	19,277	18,667	Início do levantamento: NA = 0,610m
218.590,382	8.949.831,791	1,687	20,354		
218.584,664	8.949.836,222	2,084	20,751		2008 Amostragem de um total de 667 points

praia de Sauaçui. Nessa oportunidade, fez-se uso de um veículo não motorizado, equipado como um sistema de apoio triarticulado que manteve o conjunto bastão-antena do GPS na direção da vertical durante o deslocamento do veículo, bem como a sua equidistância ao solo (figura 4).



Figura 4. Foto do protótipo de um veículo apropriado para transporte da antena do GPS.

Figure 4. Picture of the prototype of an appropriate vehicle for transport of the GPS antenna.

Como esse veículo não é motorizado, o deslocamento da antena dar-se-á em baixa velocidade, possibilitando ajustar a taxa de gravação do GPS de modo a registrar um ou mais pontos por metro linear de perfil de praia. Por outro lado, considerando que uma maior quantidade de perfis na área de estudo, poderia facilitar a interpolação das curvas de nível no DEM, o grau de liberdade do operador foi limitado, para que os perfis contemplem ao menos um ponto da linha de costa a cada 25m.

2.4. Medição do *run-up*

A energia das ondas na praia de Sauaçui é bastante amortecida pela barreira de recifes presente na antepraia. Mesmo assim, o *run-up* das ondas integra a definição do indicador de linha de costa dessa pesquisa, pois ele representa um importante adicional de altura da linha d'água nos locais com ondas de

grande energia e que espraíam livremente sobre a face de praia. Rocha et al. (no prelo), mediu o *run-up* nessa praia, através da diferença de altura entre o lençol salgado da praia e alguns pontos da linha do espraíamento, encontrando valores em torno de 23cm. Apesar da evidente influência dos fatores meteorológicos e astronômicos e da geomorfologia da praia sobre a altura do *run-up*, conforme Ross (2007), esse valor foi fixado, neste estudo, por tratar-se de um monitoramento cujos padrões de procedimentos devem ser mantidos.

2.5. Alturas de marés e correlação dos referenciais verticais

A aplicação dessa metodologia está totalmente vinculada com as alturas de marés, uma vez que o indicador de linha de costa aqui adotado corresponde a mais elevada HWL dos últimos vinte anos, acrescida do *run-up*. Para isso, além de examinar a série histórica de vinte anos do comportamento das marés, foram reproduzidas as curvas de maré dos dias em que os dados de campo foram coletados. Esse procedimento é necessário porque a identidade entre os data verticais, tidal e elipsoidal, requer o conhecimento concomitante das alturas de um mesmo ponto nesses dois referenciais.

Na medida do possível os levantamentos dos perfis de praia foram efetuados durante a maré baixa. Esse procedimento objetivou garantir a obtenção de perfis mais abrangentes da face de praia e também minimizar os erros referentes às medidas da altura da maré, em virtude do estofamento de vazante, durante o qual o nível do mar, permanece estável por algum tempo, antes de reverter o fluxo. Coletar dados do GPS na linha d'água, requer a escolha de um local calmo (sem ondas) ou o uso de um artifício apropriado para tal fim, como por exemplo, o nível de um poço escavado à beira mar, para possibilitar o conhecimento da altura de um mesmo ponto nos referenciais tidal e elipsoidal. A diferença entre essas alturas, corresponde a uma constante de identificação entre esses referenciais. Assim, para reduzir quaisquer alturas da face de praia, geradas pelo GPS, para o referencial de nível das marés, basta somar algebricamente, essa constante às alturas GPS (figura 5). Os valores dessa constante, relativos aos respectivos registros podem ser examinados na tabela 1.

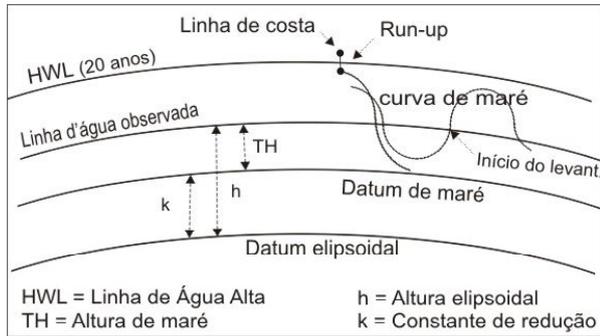


Figura 5. Esquema de redução das alturas GPS ao referencial de nível das marés.

Figure 5. GPS height Reduction Scheme to the referential of tides' level.

2.6. Método interpolador usado para gerar o DEM

Nesse trabalho, o passo a passo do monitoramento consistiu em reproduzir o DEM da área de estudo com base nos perfis de praia, identificar a linha de costa entre as curvas de nível do DEM por equivalência de altura e observar eventuais alterações de traçado da linha de costa, superpondo os DEMs correspondentes à face de praia dos anos 2006, 2007 e 2008. Os pontos coordenados dos perfis de praia formam a base para geração dos DEMs, por interpolação. Portanto, é importante observar a arquitetura de distribuição dos perfis, a densidade dos pontos que os constituem e a densidade dos perfis na área de estudo, pois disso depende o desempenho do método interpolador (Baptista et al., 2008b). Os testes aplicados para comparar a eficácia de alguns métodos interpoladores levando em conta a suavidade das linhas interpoladas e a comparação entre as alturas geradas pelo GPS e as respectivas alturas nos DEMs produzidos pelos interpoladores, em alguns pontos de controle, indicaram que no caso Sauaçui o método Radial Basis Function (RBFs) produziu melhores resultados. Os procedimentos de interpolação com uso da função de base radial, utilizam o algoritmo spline com tensão regularizada, para calcular o valor de uma dada grandeza no espaço entre as amostras ou observações a partir de uma combinação linear dos valores observados, permitindo minimizar os desvios entre valores observados e calculados, ao tempo em que promove a suavização da superfície

gerada (Leite et al., 2007). Esse método proporcionou a obtenção de modelos cujos pontos de controle indicaram maior aproximação entre os valores pontuais das ordenadas originais geradas pelo GPS e as ordenadas geradas no DEM, além de produzir curvas com melhor suavização.

Os DEMs da praia de Sauaçui referentes aos anos 2006, 2007 e 2008, foram gerados pelo programa Surfer 7.0, usando como dados de entrada os pontos coordenados (E_i ; N_i ; h'_i). como as alturas h'_i são relativas ao referencial de nível das marés, os modelos gerados representam às respectivas superfícies sobre as quais a linha d'água se desloca durante a livre movimentação da maré, na qual a linha de costa corresponde à curva de nível de altura equivalente ao indicador adotado (figura 6).

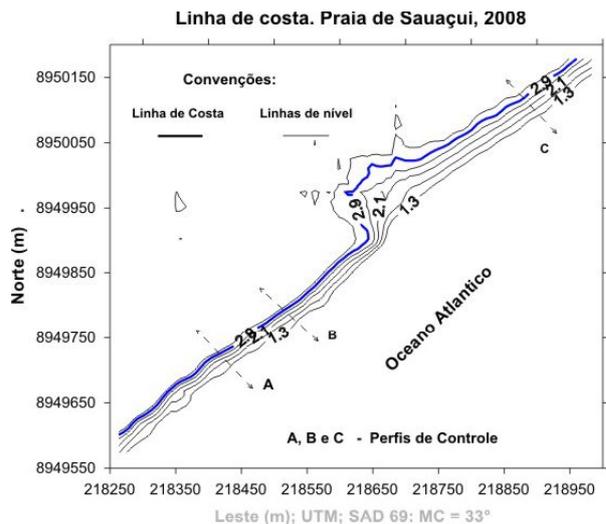


Figura 6. O DEM Sauaçui 2008 ilustra o produto final gerado pelo método interpolador em cada época do monitoramento, no qual a linha de costa, representada pela curva de nível na cota 2,9 m, encontra-se em destaque. Nessa figura também estão indicadas às posições dos perfis de controle AA, BB e CC, gerados através de nivelamento geométrico e reproduzidos com base no DEM.

Figure 6. The DEM Sauaçui 2008 shows the final product generated by the interpolator method in each monitoring season, in which the shoreline, represented by the level curve in the quota 2,9 m, is stressed. In this figure the profiles' positions of control AA, BB and CC also are indicated, generated through the geometric capping, and reproduced based on the DEM.

Os DEMs dos anos 2006 e 2007 foram gerados de forma similar e serão usados adiante para análise do comportamento no período monitorado.

2.7. Perfis de controle

O controle da precisão com que as linhas de costa foram localizadas nessa pesquisa foi efetuado pela comparação entre as medidas dos perfis AA, BB e CC, indicados na figura 6. Em cada uma dessas seções, foram elaborados dois perfis, sendo que um deles foi reproduzido através de nivelamento geométrico topográfico convencional e o outro foi reconstituído com base nas curvas de nível do modelo gerado pelo método interpolador. O controle consistiu em comparar a posição de três pontos da linha de costa, identificados nos perfis de uma mesma seção, caso a caso, por equivalência de altura.

Os perfis gerados por nivelamento geométrico, assim como os seus correspondentes, plotados a partir do DEM, estão vinculados ao referencial de nível das marés, ou seja, a cota de partida (linha d'água) proviu da curva de maré, caso a caso. Isto significa que cada ponto de partida não tem exatamente a mesma cota, em virtude da dinâmica da maré. Entretanto, para padronizar os procedimentos, suas origens foram transpostas para o local da linha d'água na altura 1,3m. Portanto, a partir desse ponto até o ponto de controle na altura 2,9m (linha de costa), os perfis gerados por nivelamento geométrico e os perfis plotados a partir do DEM, caso a caso, deveriam ter a mesma extensão (figura 7).

A comparação entre os perfis AA indicou uma diferença no comprimento entre o perfil gerado por nivelamento geométrico e o perfil reproduzido a partir do DEM de 0,4m, e, nos perfis BB e CC, essas diferenças foram da ordem de 0,5m e 0,6m, respectivamente.

2.8. Erros

a) Erros instrumentais

Os posicionamentos pelo GPS no modo diferencial relativo dinâmico contêm erros que dependem do comprimento da linha de base. Segundo Hofmann-Wellenhof et al. (1998), a precisão horizontal pode ser da ordem de 0,01 m e a vertical 0,02 m, acrescidas do fator 2ppm (variável, conforme

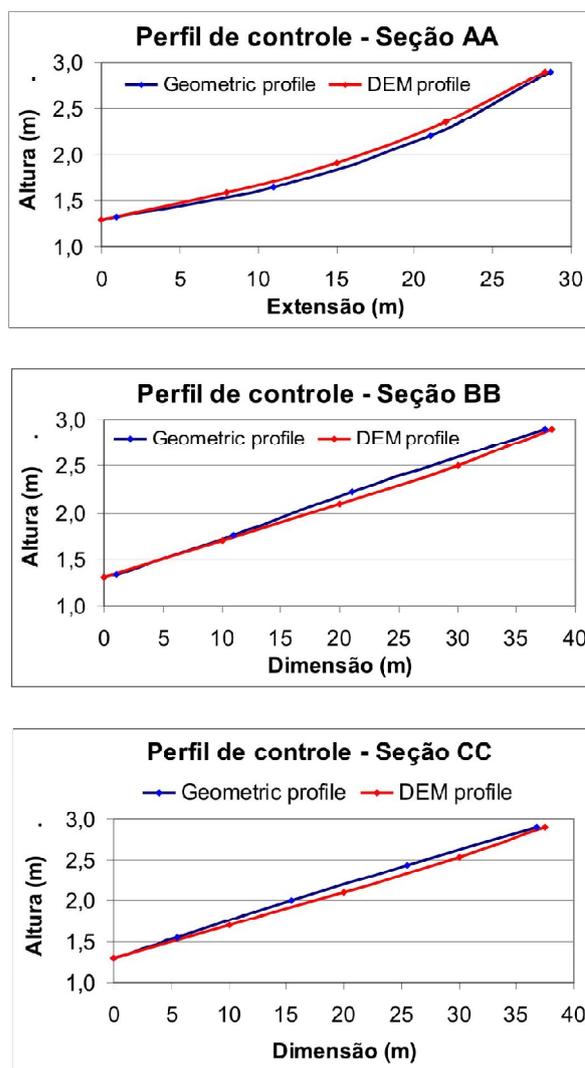


Figura 7. Os Perfis AA, BB e CC mostram como foram efetivados os controles da precisão com que as linhas de costa estão localizadas.

Figure 7. The profiles AA, BB and CC they show how the precision controls in which the shorelines are localized were made.

o modelo do equipamento). No caso Sauaçui, foram utilizados receptores GPS de dupla frequência, que atendem a esse nível de precisão. Como os posicionamentos dos pontos no interior da área de estudo foram definidos com base no marco Sauaçui, o fator de acréscimo será insignificante, pois a linha de base é da ordem de 0,2km, para os pontos mais afastados do marco. No caso Sauaçui, a qualidade dos posicionamentos cinemáticos pode ser avaliada pela

comparação das coordenadas do ponto da linha d'água, gerado pelo método estático rápido no início da coleta de dados e pelo método cinemático, durante o deslocamento. Para isso, é necessário passar pelo mesmo local em que se deu início à coleta dos dados GPS. Essa avaliação leva em conta que as coordenadas geradas pelo método estático rápido relativo, podem ter precisão melhor que um centímetro (Segantine, 2005). Entretanto, ao gerar "o mesmo ponto" no método cinemático, a taxa de gravação, apesar de alta, não é contínua. Portanto, os pontos examinados, a rigor, não serão exatamente os mesmos, embora muito próximos. Daí essa verificação ser mais útil e mais importante para avaliar a precisão com que a altura do local observado foi medida, uma vez que na linha d'água, esse valor é praticamente o mesmo, em um curto intervalo de tempo e os erros de natureza vertical são mais importante que os erros de natureza horizontal, uma vez que os primeiros irão potencializar os segundos no processo de interpolação das curvas de nível.

Para avaliar a precisão da localização geográfica da linha de costa, foram nivelados e contra nivelados três perfis de praia, com nível ótico de precisão 2mm + 1ppm. Esses perfis iniciam na linha d'água e seguem na direção perpendicular à linha de costa, até ultrapassar a linha do espraiamento, de modo a prevenir que a linha de costa seja interceptada. Como os perfis têm cerca de 60 m de comprimento, o erro final de nivelamento será da ordem de 1,8mm, desde que, como neste caso, sejam corrigidos os desvios de nivelamento causados pela curvatura de Terra, através do uso da equação 1 (Espartel, 1982). Contudo, a propagação desses erros no posicionamento horizontal dos pontos em praias com rampa de 10% será dez vezes superior.

$$\Delta H = \frac{D^2}{2R} \quad (1)$$

ΔH → erro de nivelamento
 D → distância nivelada
 R → raio médio da Terra

A cota atribuída ao ponto inicial do perfil na linha d'água foi subtraída da curva de maré do dia, em consonância com o conceito que foi usado para correlacionar os referenciais verticais. Portanto,

também neste caso será necessário registrar os instantes em que a régua é lida sobre a linha d'água. Devido a isto, esse controle está associado a possíveis erros cronológicos do pico das marés e será atenuado se as medições forem efetuadas durante o estofo da maré. Testes de verificação da diferença cronológica realizados na região do experimento, através do uso de um escalímetro e um cronômetro, identificaram defasagem da ordem de 3 minutos, entre o tempo médio do estofo e o momento do pico da maré, registrado pela DHN (diretoria de hidrografia e navegação). O erro de altura da maré nesse intervalo de tempo depende do estágio de enchente ou vazante em que a maré se encontra, considerando seu comportamento sinusoidal e as pressões meteorológicas sobre a amplitude da maré local, conforme é citado em Vargas et al. (2008). No caso Sauaçu, esse erro pode variar de 0 à 2,5cm. Isto significa que o controle efetuado através dessa técnica pode conter uma propagação de erros nos posicionamentos horizontais de até 25cm nas praias com rampa de 10%.

b) Erros metodológicos

Outras fontes de erro que precisam ser levadas em conta nos posicionamentos pelo GPS no modo cinemático relativo são: a verticalidade do conjunto bastão-antena e a instabilidade na equidistância da antena ao solo. Os desvios de verticalidade da antena causam erros na posição geográfica dos pontos tanto na escala horizontal, quanto na escala vertical, sendo os primeiros mais significativos. Esses erros são de natureza sistemática e foram praticamente eliminados com o uso do veículo transportador da antena do GPS, devido ao sistema de fixação triarticulado para a antena. Como esse sistema mantém o conjunto bastão-antena sobre o eixo da roda do veículo, a equidistância da antena ao solo praticamente não varia, mesmo quando o operador é substituído por outro de altura não muito diferente.

c) Erros associados ao processo de interpolação

Para avaliar os erros devidos ao método interpolador usado para gerar o DEM da praia de Sauaçu, foram comparadas as alturas GPS de alguns pontos de controle com as respectivas alturas nos modelos gerados pelos interpoladores (figura 8).

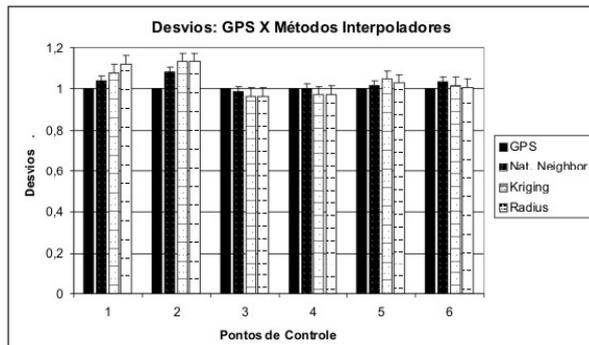


Figura 8. Gráfico dos desvios padrão dos modelos gerados pelos métodos interpoladores.

Figure 8. Standard deviations' graphs height of the models generated by interpolator methods.

Os pontos 1, 2, 4 e 6, estão localizados em partes da área de estudo, nas quais os perfis seguem a configuração básica, enquanto os pontos 3 e 5, estão em lugares onde essa configuração foi reforçada por um caminhamento adicional cruzado, de modo que a densidade dos pontos é bem maior.

d) Erros associados à redução das alturas e a inclinação entre os referenciais verticais

De acordo com Rocha et al. (2008), as reduções de altura para o nível do mar causam pequenos erros de posicionamento em virtude da diferença entre os raios de curvatura dos referenciais verticais do GPS e da maré, além de erros devido ao eventual não paralelismo entre a curvatura do elipsóide e a curvatura da linha d'água, ao longo da praia observada. Segundo Rocha et al. (no prelo), na primeira etapa dos estudos efetuados na praia de Sauaçui, os erros nas medidas horizontais provenientes da redução das alturas GPS para o nível do mar, foram inferiores ao milímetro e os erros nas medidas verticais devido ao não paralelismo entre a curvatura do elipsóide e a curvatura da linha d'água, foram da ordem de 10mm, e que, para mantê-los nessa ordem de grandeza em trabalhos mais extensos, basta coletar novas alturas GPS na linha d'água e re-observar a nova altura da maré, recalculando a constante de redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés à espaços regulares de 600m.

3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

3.1. Indicador de linha de costa e curvas de maré

O indicador de linha de costa dessa pesquisa corresponde á curva de nível de cota 2,9m acima do referencial de nível das marés, relativo ao porto da cidade de Maceió, no Estado de Alagoas, pois de acordo com Rocha et al. (no prelo), o run-up das ondas da praia Sauaçui foi estimado em 0,23m e a mais elevada HWL local registrada nos últimos 20 anos, foi de 2,70m.

As curvas de marés dos dias em que houve coleta de dados GPS foram geradas com base nas tábuas e tabelas de correção de marés publicadas pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) da Marinha do Brasil. Através delas pode-se verificar as alturas de marés nos respectivos instantes em que os dados GPS foram coletados (figura 9).

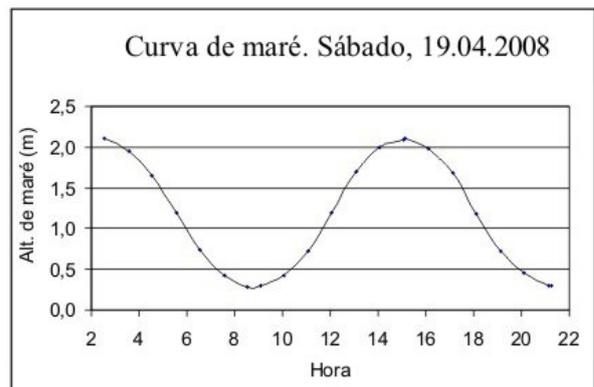


Figura 9. Curva de maré do dia 19 de Abril de 2008, corrigida da diferença de longitude entre a estação maregráfica de Maceió e Sauaçui. Esta curva exemplifica como foram estimadas as alturas da maré nos respectivos instantes em que a antena GPS foi colocada sobre a linha d'água, em cada etapa do monitoramento.

Figure 9. 19th April, 2008 tide curve, corrected of the longitude difference between the tide graphical station of Maceió and Sauaçui. This curve exemplifies how the tide's heights were estimated during the respective instants in which the GPS antenna was put upon the water line, in each step of the monitoring.

3.2. Redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés

As constantes de redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés (k_i), correspondentes as diferenças entre as alturas GPS (elipsoidais) registradas na linha d'água e as alturas das marés nos instantes concomitantes, são mostradas na Tabela 1.

Os pontos coordenados ($E_i; N_i; h_i$), que constituem os perfis de praia gerados pelo GPS, dão origem aos conjuntos de pontos ($E_i; N_i; h'_i$), onde (h'_i) são as alturas dos pontos dos perfis de praia, agora referidos ao nível de redução das marés. (Tabela 2).

3.3. Monitoramento da linha de costa

Para visualizar as mudanças que ocorreram no traçado da linha de costa Sauaçui entre os anos 2006, 2007 e 2008 fez-se à sobreposição dos DEM. Neste caso, para não sobrecarregar a figura, as demais linhas de nível do modelo foram retiradas, mantendo-se apenas a linha de costa de cada ano do monitoramento (figura 10).

As seções 1 e 4, indicadas na figura 10, localizam-se nas proximidades dos extremos Sul e Norte da área de estudos, respectivamente e as seções 2 e 3 estão próximos aos limites do intervalo de praia semi-obstruído pelas pedras e muros de proteção edificadas pelos proprietários dos imóveis ameaçados pela erosão numa tentativa de fixar a linha de costa.

Os deslocamentos experimentados pela linha de costa no período monitorado podem ser visualizados integralmente, observando-se graficamente as diferenças no traçado das respectivas linhas. Entretanto esses deslocamentos também podem ser quantificados analiticamente para quaisquer pontos de interesse, com base na alteração das coordenadas, através da relação trigonométrica dos triângulos retângulos, onde o deslocamento da linha de costa corresponde à hipotenusa e a variação das coordenadas N e E do ponto observado corresponde aos catetos (figura 11, tabela 3), conforme está representado na equação 2.

Na seção 1 a linha de costa recuou cerca de 7m no período 2006/2007; entretanto, avançou cerca de 5m no período 2007/2008, mantendo um recuo de 2m. Na seção 2 a linha de costa avançou cerca de 6,0m no período 2006/2007; entretanto, no período

2007/2008 recuou cerca de 7m, prevalecendo um recuo de 1m. Na seção 3, a linha de costa recuou cerca de 8,0m no período 2006/2007 e avançou 2,0m no período 2007/2008, prevalecendo um recuo de 6,0m. E, na seção 4, a linha de costa manteve-se estável no período 2006/2008.

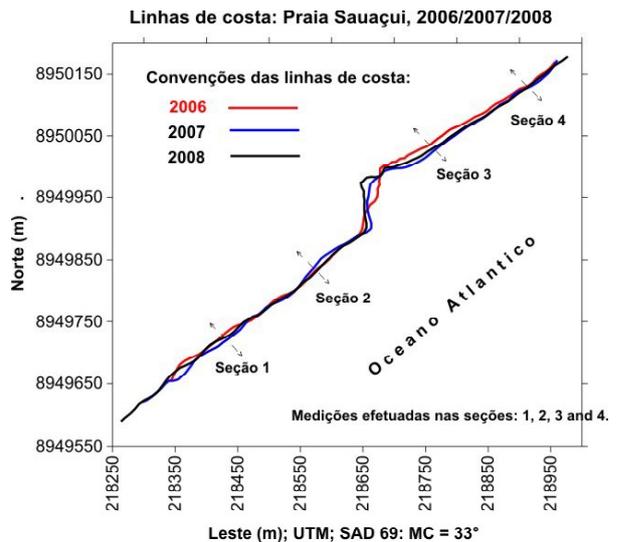


Figura 10. DEMs dos anos 2006, 2007 e 2008, sobrepostos. Esses DEMs mostram apenas a linha de costa de cada ano e a posição das seções 1, 2, 3 e 4, usadas para amostragem de deslocamentos pontuais no período monitorizado. As demais curvas de nível do modelo foram suprimidas para facilitar a visualização.

Figure 10. DEMs from the years of 2006, 2007 and 2008, overlapped. These DEMs show only the shoreline of each year and the position of the sections 1, 2, 3 and 4, used to sample punctual displacement, in the monitored period. The other level curves of the model were suppressed in order to ease the visualization.

$$d = \sqrt{\left((N_i - N_{(i-1)})^2 + (E_i - E_{(i-1)})^2 \right)} \quad (2)$$

$d \rightarrow$ deslocamento da linha de costa
 $(N_i; N_{(i-1)}), (E_i; E_{(i-1)}) \rightarrow$ Coordenadas dos pontos antes e depois do deslocamento

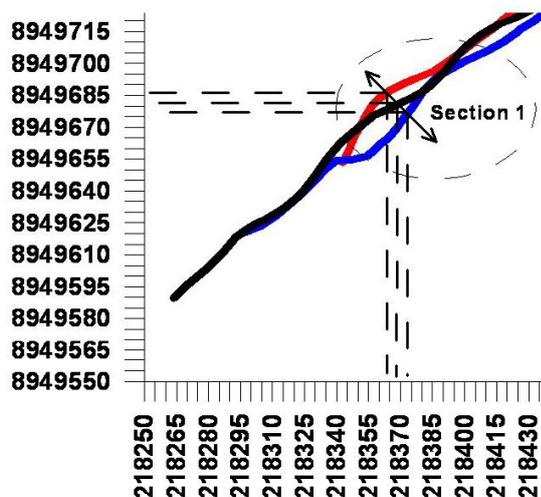


Figura 11. Detalhe ilustrativo da interceptação de uma seção transversal à linha de costa, de onde podem ser subtraídas as informações necessárias ao cálculo analítico dos deslocamentos, no ponto de interesse.
 Figure 11. Transversal section to the shoreline interception illustrative detail from where the information needed to the displacement analytic calculus in the interest point can be subtracted.

Tabela 3. Demonstrativo de cálculo dos deslocamentos pontuais, com base na variação das coordenadas dos pontos das respectivas linhas de costa, interceptadas pela seção perpendicular a estas linhas no ponto de interesse.

Table 3. Demonstrative of displacement punctual calculus, based on the variation of the points' coordinates from the respective shorelines, intercepted by perpendicular section to those lines in the interest points.

Coordenadas (m) - Pontos da linha de costa: praia de Sauaçu				
Seção	Anos	Norte	Leste	deslocamento (m)
1	2006	8.949.717	218.413	0,00
	2007	8.949.712	218.418	-7,07
	2008	8.949.716	218.415	5,00
		acumulado		-2,07
2	2006	8.949.835	218.570	
	2007	8.949.838	218.565	6,02
	2008	8.949.835	218.571	-7,03
		acumulado		-1,01
3	2006	8.950.034	218.756	
	2007	8.950.027	218.759	-7,98
	2008	8.950.028	218.757	2,13
		acumulado		-5,86
4	2006	8.950.130	218.912	
	2007	8.950.130	218.912	0,00
	2008	8.950.130	218.912	0,00
		acumulado		0,00

4. DISCUSSÃO

Várias técnicas baseadas na topografia convencional, interpretação de imagens aéreas e espaciais, GPS, ALS (airbone laser scanning) etc., podem ser utilizadas para localizar e monitorar linhas de costa. Entretanto, a grande variedade de indicadores de linha de costa consiste em um dos fatores que mais dificulta o seu monitoramento. Muitos pesquisadores, a exemplo de Moore et al. (2006), têm citado a escolha dos indicadores e a dificuldade de correlação dos referenciais verticais entre as principais fontes causadoras de inconsistências nos resultados.

O grande problema dos indicadores físicos é que estes mudam de endereço de acordo com as marés e suas marcas não são duradouras. O indicador de linha de costa usado para esse monitoramento está definido em Rocha et al. (no prelo) e corresponde a curva de nível de altura equivalente a mais elevada HWL registrada em uma série de vinte anos, acrescida da sobre elevação de 0,20m devida ao run-up.

Uma das dificuldades em associar a linha de costa com as alturas de marés está no referencial vertical, sendo decorrente da vinculação entre o datum ortométrico (geóide) e os referenciais de maré. Ocorre que o nível do mar, a rigor, não segue o modelo geoidal e o geóide, por sua vez, também não mantém uma correlação constante com os data elipsoidais, referência dos posicionamentos geográficos pelo GPS (Shofield, 1993; Torge, 2001; Vanicek & Krakiwsky, 1986). Assim, a conversão entre as alturas medidas nesses referenciais, na maioria das vezes depende de informações pouco precisas, como ainda é o caso do MapGeo 2004 que ainda contém inconsistências da ordem de 2m. Erros verticais dessa magnitude transferem erros horizontais de até 20m nas praias com declive de 10% e são inviáveis para detectar pequenos deslocamentos da linha de costa, como os que ocorreram na praia de Sauaçu, no período 2006/2008, conforme foi mostrado na seção anterior, os quais provavelmente são causados pela resultante das forças oriundas da corrente gerada pela desembocadura do Rio Sauaçu, das ondas e da resistência gerada pelas pedras usadas para proteger parte da praia.

A localização das linhas de costa desse estudo usou a mesma técnica de redução das alturas dos perfis de

praia gerados pelo GPS para o referencial de nível das marés proposta em Rocha et al. (2008), através da identidade das alturas de um mesmo ponto relativas aos dois referenciais, por considerar que essa técnica evita prováveis erros oriundos da conversão entre os data verticais, tidal e elipsoidal.

O uso do posicionamento tridimensional pelo GPS para localizar linhas de costa, consiste numa opção metodológica em fase de teste nessa área do conhecimento. Embora os posicionamentos geográficos pelo GPS e a reprodução de relevos baseada em perfis topográficos há muito tempo já venham sendo utilizados, o processo aqui desenvolvido vai além da simples aplicabilidade da ferramenta GPS, quando agrega aos conceitos e procedimentos já consagrados, uma caracterização específica, associada ao uso que se destina. Por exemplo, o conceito de linha de costa aqui abordado permanece como a interface do mar com o continente, no limite efetivo da atividade marinha (Ruggiero et al., 2003; Suguio et al., 1985; Webster, 1988). Entretanto, nessa pesquisa atribuiu-se ao indicador de linha de costa um endereço espacial, ao representá-la pela curva de nível de altura igual a mais elevada HWL de uma série temporal, acrescida do run-up. Isso significa atribuir à linha de costa uma representação matemática inequívoca, vinculada ao referencial de nível das marés, desvinculando-a das marcas residuais deixadas ou não pelas marés passadas e que a rigor não se repetirão. Dessa forma, é possível manter os padrões de procedimentos necessários ao monitoramento de uma linha de costa.

Além disso, o endereçamento adequado para um indicador de linha de costa, precisa ser espacial, já que os movimentos das marés não precindem da escala vertical, sendo este um dos principais fatores da intensa dinâmica da linha de confronto entre o mar e o continente, cuja altura varia não só com as amplitudes das marés como também com o run-up, de porto a porto e os seus efeitos são propagados na direção horizontal com diferentes intensidades, de acordo com a declividade da face de praia. Portanto, cabe aos pesquisadores de cada região verificar qual a curva de nível que melhor representará a linha de costa objeto de estudo, acrescentando-lhe a folga que julgar necessária e suficiente.

Contudo, a associação de técnicas e equipamentos

provenientes de diferentes áreas do conhecimento como a geodésia, a oceanografia e as interpolações computadorizadas para reconstituir os relevos, requer um tratamento adequado dos erros inerentes a cada etapa do processo, para que os resultados sejam produzidos em conformidade com as necessidades do gerenciamento costeiro. Para isso, alguns cuidados foram tomados, como por exemplo, a construção de um pilar de concreto dentro da área de estudo. Essa decisão teve por objetivo alguns aspectos técnicos importantes, como a redução da linha de base e a conseqüente facilidade em fixar a ambigüidade da fase da portadora dos sinais GPS, usando algoritmo do tipo OTF (on the fly). Assim, os pontos que constituem os perfis foram gerados no modo cinemático com linha de base muito curta, da ordem de 0,2km, contribuindo para a obtenção de perfis com precisão vertical da ordem de dois a três centímetros, sendo que o posicionamento vertical é mais crítico que o posicionamento horizontal (Hofmann-Wellenhof et al., 1998).

Os DEMs foram gerados com base nos perfis de praia cujas alturas estão associadas ao referencial de nível das marés. Como esses perfis foram originalmente produzidos através de posicionamentos pelo GPS, foi necessário estabelecer as alturas de um mesmo ponto da linha d'água pelo GPS e pela curva de maré, pois a diferença entre essas medidas representa a grandeza que deve ser adicionada algebricamente às alturas dos pontos dos perfis gerados pelo GPS para reduzi-los ao referencial de nível das marés. O uso dessa técnica tem a vantagem de dispensar o conhecimento da altura da antena do GPS, eliminando o erro sistemático dessa medida, além de gerar um modelo que simula a face de praia, permitindo visualizar o diferenciado deslocamento horizontal da linha d'água nas áreas de baixa declividade. Entretanto, é preciso que a altura da antena do GPS seja mantida do início ao fim de cada seção de trabalho. Nesse aspecto, o veículo transportador da antena mostrou-se bastante eficaz e com excelente relação custo-benefício, aumentando a comodidade e o rendimento do operador, além de praticamente eliminar os erros sistemáticos de verticalidade e medidas da altura da antena, pois o seu sistema de fixação triarticulado, mantém a verticalidade do conjunto bastão-antena durante o deslocamento, bem como a equidistância da antena ao solo.

A qualidade do produto final gerado por um interpolador depende da densidade e configuração dos pontos, da superfície a ser reproduzida. Assim, as superfícies de alguns estudos como Baptista et al. (2008b), foram melhor reproduzidas pelos métodos TIN (Triangular Irregular Network) e Krig (Kriging), e em outros como, por exemplo, Souza (2002), o melhor método foi o IDW (Inverse Distance Weight), e ainda outros, como Franke (1982) e Botelho (2005), optaram pelo método NaN (Natural Neighbor). No caso Sauaçui, o método de Radial Basis Function foi o interpolador que melhor reproduziu a superfície da praia, devido as melhores condições de minimização dos desvios entre os valores observados e calculados e a melhor suavização da superfície gerada.

Os posicionamentos da linha de costa da praia de Sauaçui estão fundamentados nos perfis de praia oriundos do levantamento tridimensional pelo GPS, referidos ao pilar de concreto edificado nessa praia, que por sua vez está vinculado ao marco 93206 do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). A estabilidade desses referenciais garante afirmar que as transformações de linha de costa ocorridas nessa praia, durante o período observado, devem-se exclusivamente a sua morfodinâmica, já que também não foram constatadas alterações da HWL tomada para referência e o valor do run-up foi mantido para todos os períodos do monitoramento.

No que diz respeito ao planejamento das atividades de campo é preciso observar dois aspectos fundamentais. O primeiro concerne ao prolongamento dos perfis, que precisam ultrapassar os limites da zona de espraiamento, de modo a garantir que a linha de costa seja contemplada e o segundo diz respeito à arquitetura dos perfis em planta, para evitar um espaçamento muito longo entre um perfil e outro, que dificultaria a geração do DEM pelo interpolador. Algumas vezes a circulação do operador pode ser limitada, como ocorreu na parte obstruída pelas pedras na praia de Sauaçui, ou os sinais dos satélites do GPS podem ser bloqueados, como é suscetível de acontecer nas praias margeadas por aglomerados de edifícios. Na configuração atual em que os perfis foram desenvolvidos, constatou-se um rendimento da ordem de 1,5 km por hora, que poderá ser melhor se o trabalho visar exclusivamente à linha de costa, pois nesse caso, os perfis poderão ser encurtados, passando a ter a linha de costa como centro.

5. CONCLUSÃO

O comportamento geral da linha de costa da praia de Sauaçui sugere variações sazonais, com predominância de recuo no setor centro-norte. Os perfis de monitorização plotados nos DEMs dos anos 2006, 2007 e 2008 indicaram recuo final da linha de costa da ordem de 2 metros no extremo sul, 1 metro no setor centro-sul, 6 metros no setor centro-norte e razoável estabilidade no extremo norte da área de estudo.

A parte central da área monitorada encontra-se semi obstruída pelo acúmulo de pedras e muros de proteção que impedem a evolução natural da linha de costa. Atualmente, as ondas se chocam contra esses obstáculos nas marés altas de sizígia. Nesse seguimento de praia, a configuração dos perfis precisou ser adaptada, devido à limitação da circulação do operador que conduzia a antena e por isto as curvas geradas pelo método interpolador, apresentam algumas ruturas, que denunciam incertezas no traçado da linha de costa, nesse setor.

As mudanças que vêm ocorrendo na linha de costa da praia de Sauaçui são influenciadas pelas correntes geradas pela desembocadura do rio Sauaçui, que fica 0,6km ao norte da área de estudo, aproximadamente. Em geral, os deslocamentos da linha de costa dessa praia, mostraram-se de natureza sazonal, com claras evidências de avanço no setor obstruído pelas pedras e muros, na parte central da área monitorada e recuo no setor centro-norte. Esses deslocamentos precisam ser monitorados por mais tempo para quantificar a sua velocidade e certificar a sua tendência, já que a sazonalidade dos deslocamentos foi parcial, ou seja, a linha de costa não retornou completamente ao local de origem.

Os testes aplicados para avaliar a precisão com que os modelos foram gerados denunciam a importância da arquitetura dos perfis de praia, pois os melhores resultados foram observados nos testes das áreas com maior densidade e homogeneidade na distribuição dos pontos. Uma boa relação custo-benefício foi observada para afastamentos da ordem de vinte e cinco metros, cujos DEMs resultam erros verticais da ordem de 3,2cm. Convém salientar que erros verticais dessa magnitude transferem erros horizontais de 32cm em praias com rampa de 10% e que nesta pesquisa os perfis de controle de localização

da linha de costa indicaram desvios horizontais da ordem de 60cm. Portanto, esse é um fator que precisa ser observado na tomada de decisão de uso desta técnica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE pela gentileza de ceder os receptores GPS usados nesse estudo, a CAPES pela concessão de uma bolsa de estudos (primeiro autor) e a Universidade Federal de Alagoas, pelo incentivo à capacitação do docente a ela vinculado (primeiro autor).

BIBLIOGRAFIA

- Baptista, P.B, Bastos, L.C., Bernardes, C.A., Cunha, T.R. & Dias, J.A. (2008a) - Aplicação de Metodologia de Monitorização GPS em Litorais Arenosos. Geração de Modelos de Elevação do Terreno. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(1):9-23. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_1.pdf
- Baptista, P.B, Bastos, L.C., Bernardes, C.A., Cunha, T.R. & Dias, J.A. (2008b) - Monitoring Sandy Shore Morphologies by DGPS – A Practical Tool to Generate Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, 24(6):1516-1528. (<http://dx.doi.org/10.2112/07-0861.1>)
- Botelho, M.F., Silva da, C.R., Schoeninger, E.R. & Centeno, J.A.S. (2005) - Comparação dos resultados de interpoladores “Vizinho mais próximo” e “Inverso de uma distância” no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 731-736, INPE, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.20.47>
- Espartel, L. (1982) - Curso de Topografia. 8ª edição, 655p., Editora Globo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Esteves, L.S., Silva, A.R.P., Arejano, T.B., Pivel, M.A.G. & Vrajane, M.P. (2003) - Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI35:548-556.
- Franke, R. (1982) - Scattered Data Interpolation: Test of Some methods, *Mathematic of Computations*, 33(157):181-200.
- Graham, D., Sault, M. & Bailey, J. (2003) - National Ocean Service Shoreline – Past, Present, and Future. *Journal of Coastal Research*, SI38:14-32.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (1998) - *Global Positioning System – Theory and Practice*. 4th Edition, Springer-Verlag, Inc. (ISBN: 3-211-82839).
- Leatherman, S. P. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East coast. *Journal of Coastal Research*, SI38:5-13.
- Leite, E.P.F., Silva, J.S. & Gomes, G.S. (2007) - Obtenção de Modelo Numérico do Terreno de Alta Resolução Utilizando o Interpolador Spline com Tensão Regularizada. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa, PB, Brasil. Disponível em http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080922_103856_GEOM-012.pdf
- Moore, L.J., Ruggiero, P. & List, J.H. (2006) - Comparing Mean High Water and High Water Line shorelines: Proxy Datum Offsets be Incorporate into shoreline Change Analyses. *Journal of Coastal Research*, 22(4):894-905. (<http://dx.doi.org/10.2112/04-0401.1>).
- Morton, R.A. & Speed, F.M. (1998) - Evaluation of shoreline and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 14(4):1373-1384.
- Muehe, D. (1996) - Geomorfologia costeira. In: Cunha S.B. da & Guerra A.J.T., *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Bertrand Brasil, pp. 191-238, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISBN: 8528605485).
- Pajak, M.J. & Leatherman, S.P. (2002) - The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18(2):329-337.
- Parker, B.B. (2003) - The difficulties in measuring a consistently defined shoreline - the problem of vertical referencing. *Journal of Coastal Research*, SI38:44-56.
- Rocha, C.P., Araújo, T.C.M. & Mendonça, F.J.B. (no prelo) - Methodology for Shoreline location using the 3D-GPS positioning: a case study at Sauaçui beach, Brazilian Northeast. *Journal of Coastal Research*, no prelo.
- Rocha, C.P.; Araújo, T.C.M. e Mendonça, F.J.B. (2008) - Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo

- de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(2):127-137. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/RGCI-139_Rocha.pdf
- Ross, J.L.S. (2007) - *Geomorfologia, Ambiente e Planejamento*. 86p., Ed. Contexto, São Paulo, SP, Brasil, 1ª edição. (ISBN: 8585134828).
- Ruggiero, P., Kaminsky, M. G. & Gelfenbaum, G. (2003) - Linking proxy-based and Datum-based shorelines on a high-energy coastline: implications for shoreline change analyses. *Journal of Coastal Research*, SI38:57-82.
- Segantine, P.C.L. (2005) - *Sistema de Posicionamento Global - GPS*. 1ª edição, 364p., EESC/USP, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil.
- Souza, E.C.B. (2002) - *Análises temporais de alta precisão utilizando GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no ISTMO da Ilha do Mel*. Dissertação de mestrado, 149p. UFPR – Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil.
- Suguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M. & Azevedo, A.E.G. (1985) - Flutuações do Nível do Mar Durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15:272-286.
- Torge, W. (2001) - *Geodesy*. Walter de Gruyter, 3rd edition, 2nd. edition, 416p., Berlim, Alemanha. (ISBN: 311070728, 9783111017072).
- Vanicek, P. & Krakiwsky, E.J. (1986) - *Geodesy, The Concepts*. Elsevier, Canadá, 714p. (ISBN: 10-0444877754).
- Vargas, C.I., Oliveira, F.S.B, Oliveira, A.S.B. & Charneca, N. (2008) - Análise da Vulnerabilidade de uma praia Estuarina à Inundação: Aplicação à Restinga do Alfeite (Estuário do Tejo). *Revista de Gestão Costeira Integrada*. 8(1): 25-43. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_2.pdf
- Webster (1988) - *The Webster's Ninth New Collegiate Dictionary*. 1564p., Merriam – Webster, Springfield, MA, USA.
- Zhang, K., Huang, W., Douglas, B.C. & Leatherman, S.P. (2002) - Shoreline positions variability and long-term trend analysis. *Shore & Beach*, 70(2):31-35.