

Laser Escâner Terrestre aplicado ao monitoramento de mudanças geomorfológicas na praia de Soledade em Macau-RN, Nordeste do Brasil

André Luis Silva dos Santos¹
Venerando Eustáquio Amaro²
Marcelo Soares Teles Santos³

¹ Instituto Federal do Maranhão – IFMA
Avenida Getúlio Vargas, 04 – 65030-005 – São Luis - MA, Brasil
andresantos@ifma.edu.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Campus Universitário - 59078-970 – Natal - RN, Brasil
amaro@geologia.ufrn.br

³ Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Rod. Ilhéus - km 39, BR 415, Ferradas – 45613-204 – Itabuna - BA, Brasil
mstsantos@yahoo.com.br

Abstract. This paper evaluates an application of surveys using Terrestrial Laser Scanning (TLS), based on Light Detection and Ranging (LiDAR), to monitor the morphological changes in a sector of Soledade Beach, in Macau municipality, Northeastern coast of Rio Grande do Norte (RN), Northeast Brazil. This coastal area is controlled by dynamical meteoceanographic influences that modify beach morphology through widespread erosion, accretion in short term coastline changes. This arrangement generates a high environmental sensitivity area, due to oil wells facilities installed along the intertidal zone. Terrestrial LiDAR application occurred as a result of difficulties to map the beach and the anthropic occupations through conventional methods using theodolite, level, total station or even GNSS systems, because of their cost, time or precision, when collecting data in a fast, precise and accurate way. The results have displayed that during the monitoring period (August/14th to November/21st 2012) there was a negative volumetric sediment balance of -16,718.08 m³, and the erosion spots are concentrated near the anthropic facilities.

Palavras-chave: remote sensing LIDAR, Multitemporal Analysis, DEM, sensoriamento remoto LIDAR, Análise Multitemporal, MDE.

1. Introdução

O atual uso de sistemas de Laser Escâner Terrestre, baseado na tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*), em estudos de mudanças geomorfológicas aprimorou significativamente o monitoramento de processos de curto prazo nas zonas costeiras em setores costeiros de praias arenosas submetidos à intensa ação de ventos e da hidrodinâmica. Muitos trabalhos têm utilizado o chamado LiDAR Terrestre (doravante apenas LT) para estudos sobre aplicações variadas, de recuo de falésias vivas ao desempenho de vulcões ativos (Pesci, 2007), Geologia (Jaboyedoff *et al.*, 2008), análise mineralógica (Kurz *et al.*, 2012), estudos em vegetação (Lingnau *et al.*, 2008), mineração (Barchik *et al.*, 2007), bem como estudos de erosão costeira (Amaro *et al.*, 2013a, Santos *et al.*, 2014). Portanto, o incremento aos estudos das zonas costeiras com o uso do LT indica as possibilidades de aplicações dessa tecnologia na análise evolutiva de trechos de praias em que ocorrem processos naturais e/ou intervenções antrópicas, onde será possível quantificar a curto e médio prazo essa influência na modificação costeira da área de estudo.

O estabelecimento de método para quantificar de modo eficaz os processos de erosão/deposição sedimentar em ambientes praias, particularmente na quantificação das variações volumétricas em praias arenosas, são fundamentais na avaliação das modificações temporais de curto prazo expressivas que sofrem diversos setores do litoral do Estado do Rio

Grande do Norte (Santos *et al.*, 2012, Santos e Amaro 2013, Amaro *et al.*, 2013a). As análises de curto prazo (sazonal a interanual) da movimentação de sedimentos necessitam da aquisição rápida de dados sobre a morfologia de superfície. Neste sentido, é fundamental o uso de tecnologia LT, que permite o detalhamento morfológico em escala centimétrica com a facilidade da aquisição georreferenciada, de maneira rápida e automatizada. Nas estratégias de monitoramento ambiental de curto e médio prazo, o LT é uma alternativa frente aos levantamentos com sistemas LiDAR aeroportados, pois apesar da dimensão de imageamento reduzido para centenas de metros, permite o detalhamento morfológico, com alta frequência temporal e baixo custo (Pietro *et al.*, 2008, Hobbs *et al.*, 2010; Lindenbergh, 2010).

Assim, este estudo apresenta o resultado do monitoramento costeiro de trecho da praia de Soledade, no litoral setentrional do RN, onde nas proximidades estão os campos de exploração petrolífera de Macau e Serra, com bases de extração de hidrocarbonetos instaladas na zona de estirâncio, sob o impacto direto de ondas e correntes de canais de maré e mar aberto, aumentando o risco com acidentes de vazamento de óleo. O objetivo principal desse estudo foi avaliar a alteração volumétrica de erosão/acreção pela comparação de superfícies geradas empregando operações de análise espacial. O estudo se baseia na análise comparativa entre Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos com LT em dois imageamentos com intervalo trimestral (Agosto e Novembro de 2012) para o trecho da face de praia, pós-praia, antepraia e praia adjacentes às estruturas de contenção das instalações de extração de óleo e gás.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A praia de Soledade está localizada entre os municípios de Macau e Guamaré, no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN), geologicamente inserida no sistema de ilhas barreiras, canais de maré e praias oceânicas (Figura 1). O setor estudado sofre a proteção natural, contra a intensa ação de processos oceânicos de mar aberto, por atuação de ilhas barreiras (ilhas Ponta do Tubarão e Fernandez). Contudo, os processos costeiros modificam a Linha de Costa (LC) dessas praias arenosas por meio do transporte eólico, das correntes de deriva litorânea, ação de ondas e marés (Santos *et al.* 2011, Amaro *et al.* 2013b), promovendo erosão generalizada em diversos trechos, com alterações no balanço sedimentar e na geomorfologia costeira, com abertura e fechamento de canais de marés e a formação de novas ilhas barreiras e barras arenosas (Chaves *et al.*, 2006; Grigio *et al.*, 2005; Souto, 2009; Santos e Amaro, 2011).

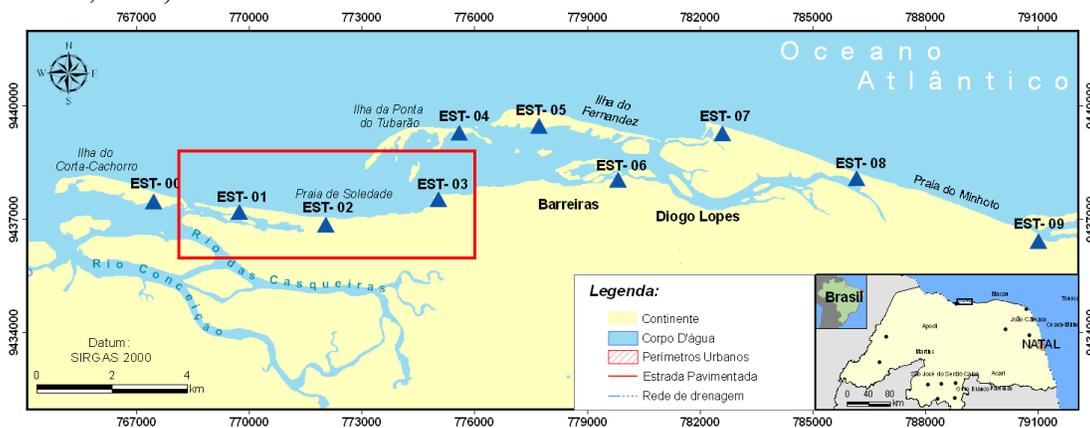


Figura 1 – Localização da área de estudo na praia de Soledade, no litoral setentrional do RN, inserida no contexto de sistema de ilhas barreiras e barras arenosas, como as ilhas barreiras da Ponta do Tubarão, Fernandez e Corta Cachorro. Localização das estações de referência (EST-nº) da Rede GNSS do Litoral Setentrional do RN (RGLS) implantada na área de estudo por Santos e Amaro (2011).

Neste setor litorâneo do RN, os fatores naturais intensos da dinâmica costeira (ventos alísios, correntes, ondas e o regime de mesomarés semidiurnas), aliados à interferência antrópica marcada pela ocupação da faixa litorânea por instalações das indústrias do petróleo, eólica, salineira e carcinicultura, promovem mudanças significativas na morfologia costeira em regimes de curto a longo prazos, que se configuram como os principais problemas ambientais da região, também área da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual da Ponta do Tubarão (criada através da Lei Estadual nº 8.349 de 18 de julho de 2003).

A Figura 2 mostra a área de estudo em detalhe, indicando a disposição do setor da praia de Soledade quanto às estradas de acesso e as obras de proteção da base de exploração de óleo e gás natural contra a ação de ondas, composto por muro de arrimo com talude resguardado por enrocamento. A Figura 2 mostra ainda os locais onde foram instalados o tripé com o conjunto LiDAR/base robótica e os alvos (*targets*) de controle 1 e 2 para o georreferenciamento da nuvem de pontos da cena do imageamento.



Figura 2 – Vista geral do trecho da praia de Soledade imageado com LiDAR Terrestre (LT), nas imediações da base de extração petrolífera Macau-A com detalhe do arranjo geométrico entre local de instalação do LT/base robótica e dos alvos (*targets*) 1 e 2, para cobertura da cena imageada e georreferenciamento. Fonte: Imagem Google Earth

2.1 Coleta e processamento dos dados

Dois levantamentos foram realizados com intervalo de três meses: o primeiro em 14 de Agosto de 2012 e o segundo em 21 de Novembro de 2012. As épocas desses imageamentos foram estrategicamente selecionadas, para coincidirem com as épocas de intensa erosão nas zonas de praia da área de estudo, comprovadas em levantamentos de dados prévios de agentes dinâmicos costeiros, tais como ventos, ondas e correntes (Souto, 2009) e por análises prévias da dinâmica costeira por métodos de sensoriamento remoto multitemporal e Geodésia de Precisão (Amaro *et al.* 2012, Santos e Amaro, 2013). Os levantamentos foram realizados em períodos de marés de quadratura, com baixamar variando de 0,6 m de altura em Agosto e 0,7 m em Novembro. As zonas de interesse do escaneamento correspondem ao setor emerso da praia em baixamar, desde as estruturas petrolíferas instaladas no pós-praia e a zona de estirâncio. Essas zonas são dinâmicas e instáveis, estando sujeitas às ações diretas do regime de ventos alísios e da hidrodinâmica costeira.

No levantamento de campo foi utilizado o LT modelo ILRIS-3D (*Intelligent Laser Ranging & Imaging System*), da *Optech Inc.*, com o aparelho sobre a base robótica de giro 360° montada em tripé, capaz de obter até 2.000 pontos por segundo em uma distância de até 2.000 m, gerando uma nuvem de pontos com resolução configurável de até 1,0 mm no

método estático. Esta configuração permite que as feições morfológicas presentes no ambiente sejam modeladas em detalhe, realizando o imageamento dos alvos 1 e 2 e em seguida da face de praia de interesse.

A nuvem de pontos dos imageamentos foram georreferenciadas e niveladas em relação ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), com base na determinação das coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude geométrica) e a altitude ortométrica da estação base (de instalação do LT) e nos dois alvos posicionados no setor estudado. As coordenadas geodésicas dos pontos de controle (base do LT, alvos 1 e 2) foram determinadas pelo posicionamento relativo estático rápido pós-processado do *Global Navigation Satellite System* - GNSS (Monico, 2008). A estação de referência utilizada foi a Rede GNSS do Litoral Setentrional do RN (RGLS), implantada na área de estudo para fornecer referencial geodésico unívoco, fixo e relativamente estável no tempo (Santos e Amaro, 2011), como mostra a Figura 1. Os receptores utilizados foram do modelo *Trimble R3* que possui precisão horizontal de 10 mm + 1 ppm e vertical de 20 mm + 1 ppm, operando com taxa de gravação de 1s. Com uso de estação da RGLS foi possível utilizar bases curtas aos posicionamentos GNSS, ou seja, a determinação de coordenadas geodésicas com alta precisão em curto intervalo de tempo, com uso do programa *Topcon Tools* versão 7.5.1 nos processamentos de dados. As altitudes ortométricas (H) dos pontos de controle foram calculadas a partir das geométricas (h), obtidas pelo GNSS, com o algoritmo desenvolvido em Santos *et al.* (2013) e com uso do modelo geoidal MAPGEO 2004 (IBGE, 2012).

O pós-processamento da nuvem de pontos foi realizado utilizando o software *PolyWorks*, gerando um conjunto de nuvens dos pontos de reflexão definido pelas coordenadas x, y, z, usado para construir os modelos digitais 3D da superfície digitalizada. Todos os pontos medidos foram combinados usando os módulos AMAlign e AMSurvey e, em seguida, exportados para o ArcGIS onde foram eliminados itens desnecessários da nuvem de pontos (p.ex. carros, edifícios e postes), como mostram as Figuras 3a e 3b.

Os MDE foram gerados no ambiente ArcGIS com curvas de nível de equidistância vertical de 0,5 m, compatível com a acurácia dos modelos de superfície, no método interpolador *Triangulated Irregular Network* (TIN), com a triangulação de Delaunay, que usa o critério da maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo (Santos e Amaro, 2011; Amaro *et al.*, 2013b). Este método é o mais adequado para a representação das feições morfológicas de superfície em praias arenosas (Amaro *et al.*, 2013b), então convertidas para arquivo *raster* para que se realizasse a comparação entre os MDE. O balanço sedimentar volumétrico foi obtido utilizando o processo *rastermathematics* pela subtração dos MDE de Agosto e Novembro de 2012, considerando o volume gerado acima de uma superfície de cota referencial, revelando áreas de deposição e erosão sedimentar, de acordo com a magnitude de ocorrência desses processos.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 contém as coordenadas geodésicas, a altitude elipsoidal e os desvios padrões dos pontos de controle utilizados no georreferenciamento das nuvens de pontos (base e alvos), além da altitude ortométrica calculada com uso do modelo geoidal MAPGEO 2004 (IBGE, 2012). As coordenadas são apresentadas no sistema de referência WGS84 e na projeção UTM (Zona 24 Sul). A Figura 3 ilustra a nuvem de pontos em estado bruto sob duas perspectivas: na Figura 3a, ao sul observa-se o trecho da Praia de Soledade e ao norte parte das instalações petrolíferas do Campo Macau-A com muros, postes e casas; e na Figura 3b observa-se uma pequena berma suave e dois patamares da praia.

Tabela 1 - Coordenadas geodésicas dos pontos da base e alvos (*targets*) de controle, desvios-padrão e altura ortométrica obtidas no levantamento utilizando LiDAR terrestre num setor da praia de Soledade.

Levantamento	Ponto/ Target	N (m)	E (m)	h (m)	sN (m)	sE (m)	sh (m)	H (m)
14 de Agosto2012	Ponto1	9437072	773389,9	2,11	0,02	0,0105	0,045	8,448
	Alvo 1	9437077	773368,6	2,226	0,0105	0,0114	0,0515	8,564
	Alvo 2	9436982	773159,5	3,464	0,023	0,024	0,061	9,802
21 de Novembro2012	Ponto 1	9437046	773138,2	-2,278	0,026	0,04	0,08	4,060
	Alvo 1	9437107	773322,4	-5,966	0,017	0,029	0,052	0,372
	Alvo 2	9437107	773322,2	-5,835	0,016	0,028	0,055	0,503

N – Coordenada Norte, E – Coordenada Este, h – altura elipsoidal, sN –desvio padrão para a Coordenada Norte, sE – desvio padrão para a Coordenada Este, sh – desvio, H – Altura Ortométrica

Como apresentado na Tabela 1 e visualizado na Figura 3, o levantamento foi realizado através de duas cenas, com objetivo de eliminar a chamada “zona de sombra”, ou seja, as áreas onde o LT não consegue visar devido à posição do equipamento. Assim, foram geradas duas cenas complementares com a integração das mesmas através dos alvos para gerar uma melhor definição do modelo (Figura 3). A área imageada tem aproximadamente 13.500 m², entre 20 e 60 m de largura e 500 m de comprimento. Está compreendida entre a linha de costa atual e o muro de arrimo e enrocamentos que protegem as instalações petrolíferas e vias de acesso aos campos de exploração de óleo do impacto das ondas de mar aberto.

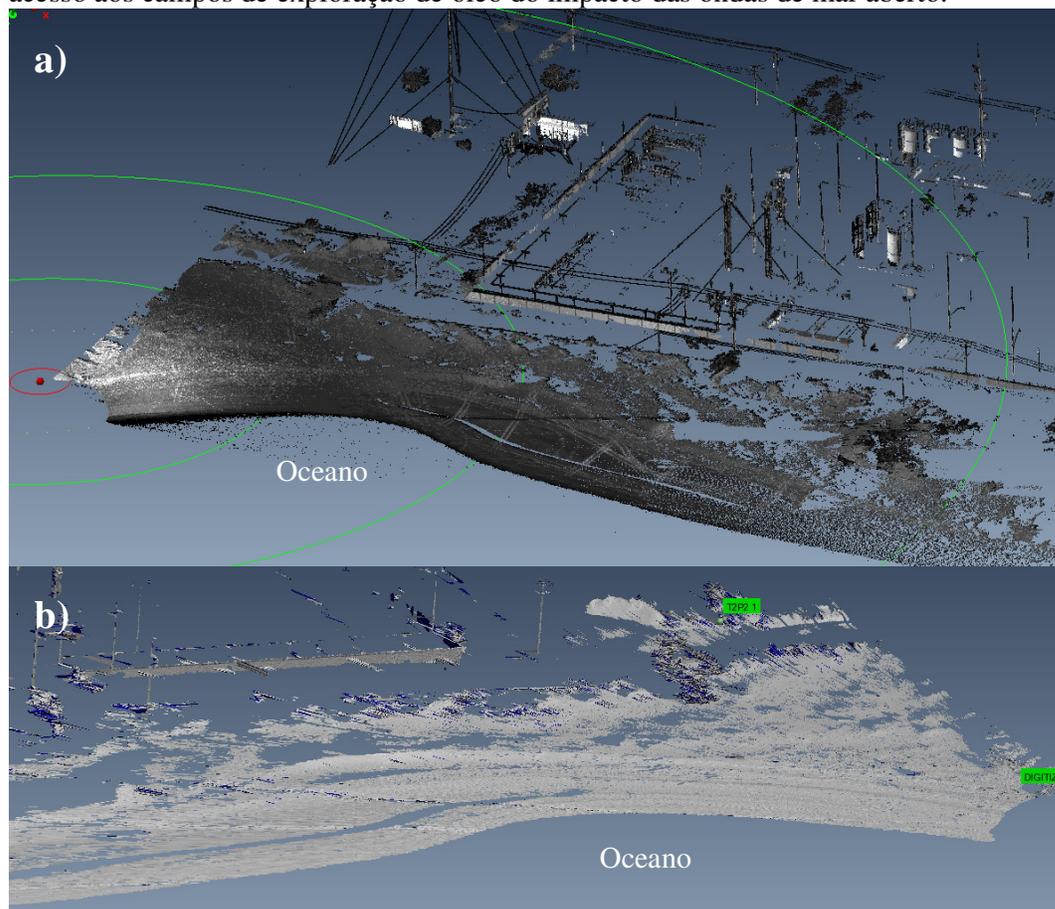
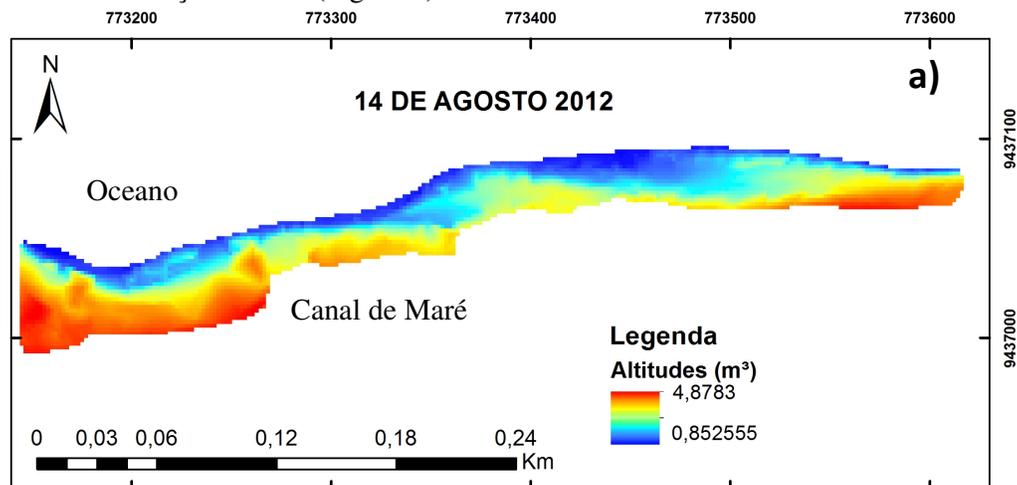




Figura 3 – Cenários da área de estudo: (a) nuvem de pontos do imageamento com LT coletados a partir do ponto de coleta mostrando a praia e a instalação petrolífera Macau-A; (b) o nuvem de pontos a partir de outra perspectiva; (c) linha de deixa e crista de berma na face de praia, com as instalações petrolíferas ao fundo; (d) detalhe mostrando a interferência que o muro de contenção e enrocamento da base de extração de óleo e gás provocam no perfil de praia; (e) detalhe da face de praia a partir do muro de contenção com indicação do alcance da maré diretamente em impacto na base dos poços de extração de óleo de Macau-A.

4.2–Modelos digitais de elevação (MDE)

A Figura 4 apresenta os MDE dos levantamentos distintos para o mesmo setor de praia, revelando a mudança no perfil altimétrico (14 de Agosto com 4,878 m / 0,8525 m; 28 de Novembro: 3,084 m / -0,1576 m) e a precisão decimétrica ao longo de todo o setor de estudo. A diferença volumétrica entre os dois levantamentos indica um saldo negativo de 16.718,08 m³ de sedimentos, que foram removidos da praia apenas no setor imageado. A comparação entre os MDE indica áreas de maior erosão situadas, principalmente, nas proximidades do muro de contenção/enrocamento da base do talude. Como esse é o elemento mais relevante na proteção da infraestrutura instalada nesse setor da praia, construído contra os efeitos destrutivos da energia das ondas e correntes, em contrassenso este também favorece a retirada de sedimentos da face de praia, decorrente das perturbações dessa estrutura rígida na acomodação hidrodinâmica das ondas/correntes ao atingirem a praia nesse local. Ainda, causam déficit de sedimentos em outros setores da praia, pois após a erosão na face de praia os sedimentos são transportados pela deriva litorânea no sentido oeste, retirando-os deste setor e depositando-os em setores a oeste, na extremidade da ilha do Corta Cachorro, na proximidade da foz desembocadura do canal de maré. Igualmente, à ação dos ventos alísios, com direções entre NE e EW nesse período, que contribuem para a retirada de sedimentos desse setor em direção a oeste (Figura 5).



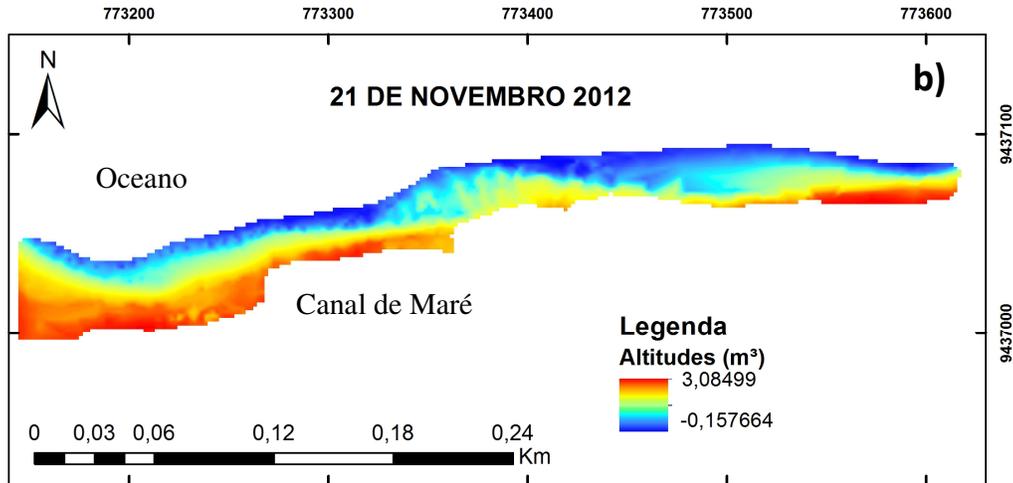


Figura 4 – Modelo Digital de Elevação para (a) 14 de Agosto de 2012 e (b) 21 de Novembro de 2012 obtidos com levantamento LiDAR Terrestre para setor da praia de Soledade próximo à base de exploração de óleo e gás natural de Macau-A.

No período trimestral de monitoramento, o regime de ventos apresentou velocidade média de $4,81 \pm 2,0$ m/s, com direções variando entre NE, E e SE. Os ventos mais fortes foram de NE, os ventos de E foram de intensidade intermediária, enquanto que os ventos mais fracos foram de SE. As maiores médias de velocidade dos ventos ocorreram nos meses de Agosto a Novembro, com picos de velocidade em Setembro ($6,5 \pm 2,0$ m/s), coincidindo com os meses de menor precipitação pluviométrica (0 a 0,4 mm). Entre os meses de Agosto a Setembro ocorreu predominância dos ventos de SE e entre Outubro e Novembro em E. A Figura 5b apresenta as ondas no período entre Agosto a Dezembro/2012, mostrando as direções preferenciais e as componentes de maior intensidade para o período, que contribuíram para o cenário de erosão, ou seja, a combinação de ventos e ondas de E/NE.

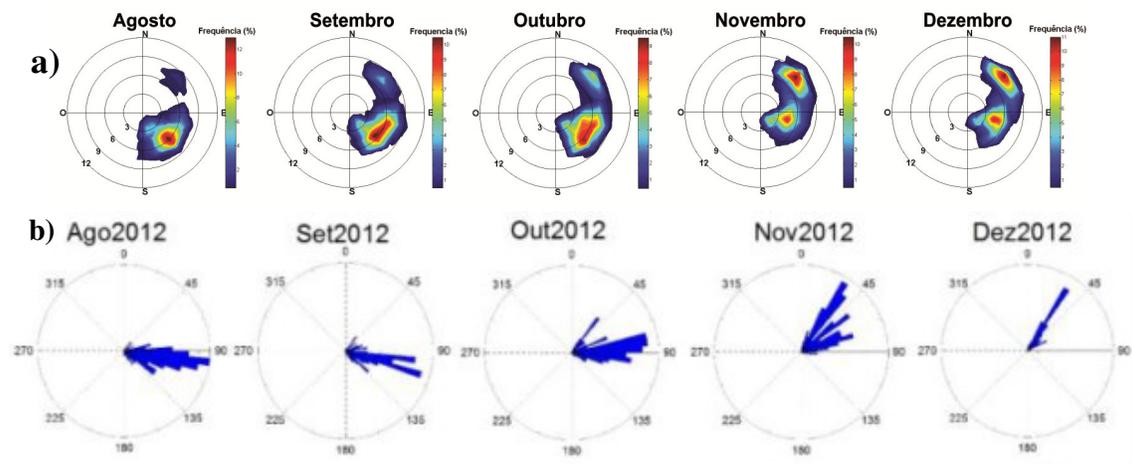


Figura 5 – Espectrogramas polares mostrando o padrão de distribuição dos ventos (a) e ondas (b) de Agosto a Dezembro de 2012, segundo dados da estação meteorológica de Macau-RN A317 e dados de ondas coletados *in situ*. Fonte: INMET e Matos (2013).

4.3 – Balanço sedimentar volumétrico

O balanço sedimentar volumétrico resultou da subtração dos MDE obtidos nos diferentes levantamentos, apresentado como mapa de variação volumétrica (Figura 6), mostrando áreas

de acreção e erosão sedimentar, de acordo com a intensidade de ocorrência desses processos, sendo adotadas as seguintes convenções: valores negativos representam grande perda altimétrica (erosão intensa) e valores positivos representam pouca perda altimétrica (erosão branda ou suave). Assim, a Figura 6 indicou que no período de monitoramento houve menor perda de sedimentos na porção central da praia, principalmente no setor sul, promovido pelo acúmulo decorrente do transporte eólico, como também na porção oeste ocasionado pela deriva litorânea, que carrega os sedimentos de leste para oeste. Mudanças consideráveis na inclinação e elevação da praia foram observadas no meio da face praial do setor estudado, submetidos à erosão intensa. Além disso, foi observada erosão intensa ao pé do do muro de arrimo da base de exploração, infraestrutura construída com intuito de conter as forças hidrodinâmicas.

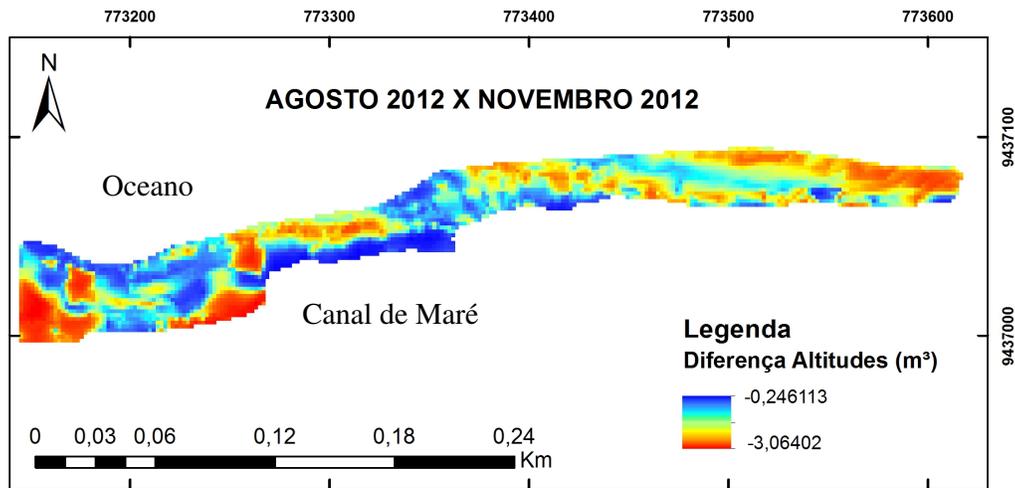


Figura 6 - Variação volumétrica entre os MDE de 14 de Agosto e 21 de Novembro de 2012. As zonas em vermelho indicam erosão intensa e em azul erosão branda.

No intervalo de monitoramento, a diferença de volume entre os dois levantamentos para o conjunto de dados deste setor específico da praia de Soledade indica um balanço sedimentar negativo de 16.718,08 m³. Em concordância com as Figuras 6 e Figura 7, a erosão para esse período é resultado da predominância de intensos ventos de NE sobre a atuação de ondas na LC. Os ventos intensos amplificam a ação das ondas na LC e também, conforme a predominância de direção, e as condições de baixa pluviometria do período, favorecem o transporte dos sedimentos do continente para o oceano, promovendo a suavização da topografia, enquanto a corrente de deriva litorânea conduz para oeste.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos em Santos (2014), que realizou o monitoramento com a utilização de método GNSS no conjunto da praia de Soledade e destacou o balanço sedimentar areal negativo de -25.278 m². Este levantamento foi conduzido no mesmo período sazonal do monitoramento com LT, apresentado neste trabalho, sendo bem correlacionados ao volume de erosão medidos para este setor.

4. Conclusões

Este estudo apresentou a análise multitemporal aplicada à quantificação das diferenças volumétricas indicativas de erosão/deposição de trecho da praia de Soledade a partir de MDE obtidos por imageamento realizado com LT de alta precisão. Este setor da praia foi selecionado pela proximidade às instalações da indústria petrolífera alojadas em zona de estirâncio, com bases de poços de exploração de óleo e gás, canos de conexão com os poços, queimadores, protegidas da ação das ondas e correntes com muros de arrimo e enrocamento. Portanto, por ser um setor de praia em alto risco de acidentes com óleo, decorrentes da intensa

hidrodinâmica e ventos, e da locação equivocada das bases de exploração petrolífera em zona de estirâncio em praia arenosa com déficit sedimentar, são realizadas regularmente medições geodésicas sazonais para entendimento da erosão e acreção de sedimentos.

Os MDE obtidos com o LT permitiram a determinação de pontos amostrais representativos do relevo com acurácia de poucos centímetros em relação aos referenciais planimétricos e altimétricos adotados oficialmente pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Para isso, utilizou-se como referência a Rede GNSS do Litoral Setentrional do RN (RGLS) instalada no local. Os resultados mostraram uma erosão de -16.718,08 m³ para o período entre 14 de Agosto e 21 de Novembro de 2012, ocasionado pelo conjunto de fatores meteoceanográficos que, para o período estudado, foi característico de intervalo destrutivo com fortes ventos alísios de ESE, associados às ondas de NE dominantes e correntes de maré que propiciaram a alta taxa de remoção de sedimentos da praia e pós-praia. A comparação entre os MDE revelou as áreas com erosão acentuada situadas nas proximidades das intervenções para contenção do avanço do mar, o que demonstra a inadequação dessa alternativa.

O cálculo de volume através de MDE é uma importante ferramenta no estudo de erosão/acreção de sedimentos em praias arenosas, pois, através da comparação dos MDE georreferenciados é possível, além da identificação e da mensuração da variação da LC e do cálculo das áreas de erosão ou acreção, o cálculo do volume e da orientação do transporte de sedimentos. Além disso, em relação aos métodos de levantamento mais tradicionais, anteriormente aplicados na área de estudo, o uso do LT permitiu o levantamento de detalhes morfométricos com precisão e acurácia, em locais com instalações antrópicas. Desse modo, é possível a modelagem da praia e da infraestrutura antrópica instalada com fins de análise da modificação ocorrida como consequência do empreendimento, além de determinar a variação do volume de sedimentos nessas áreas de difícil acesso. A análise precisa do transporte de sedimentos ao longo do ano, em setores subaéreos de praias e na escala de curta duração, necessita de aquisição rápida e precisa de dados medidos *in situ*. O uso de tecnologia LT para esse fim, se mostrou eficiente na medida em que nas nuvens de pontos apareceram detalhes morfológicos presentes na praia, além da facilidade na aquisição de dados georreferenciados de forma precisa, rápida e automatizada para o monitoramento de curto prazo.

O estudo da praia de Soledade, em Macau-RN, área de exploração de óleo e gás, foi relevante para entendimento da dinâmica costeira e pela importância da aplicação da tecnologia do LT em metodologias de quantificação do volume sedimentar em praias arenosas estreitas. Destaca-se a importância do LT na mensuração e análise da dinâmica sedimentar costeira em monitoramentos de curto prazo para áreas costeiras.

Referências

AMARO, V. E. ; SANTOS, A. L. S. ; SCUDELARI, A. C. ; COSTA, B. C. P. **Use of terrestrial LiDAR for quantifying morphological changes in Ponta Negra Beach, Natal City, Northeast Brazil.** In: CoastGIS 2013 Conference: Monitoring and Adapting to Change on the Coast, Victoria, BC, Canada. CoastGIS 2013 Conference: Monitoring and Adapting to Change on the Coast, v. 1. p. 5-9. 2013a.

AMARO, V.E.; LIMA, F. G. F.; SANTOS, M.S.T. An Evaluation of digital elevation models to short-term monitoring of a high energy barrier island, Northeast Brazil. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, vol. 76. 2013b.

AMARO, V.E.; SANTOS, M.S.T.; SOUTO, M.V.S. **Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão.** 1ª Ed. Natal, Edição dos Autores, 118p. 2012.

BARCIK, E. A. L.; MOSER, I.; SANTOS, D. S.; MARTINS, B. D. Aplicação do scanner terrestre ILRIS-3D no ramo da mineração. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3631-3635. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-

00031-7. Available from: <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.16.34>. Acesso em: 2013, Feb. 23. 2007.

CHAVES, M.S.; VITAL, H.; SILVEIRA, I.M.; SANTOS, D.A.S.. Beach Morphodynamics of the Serra Oil Field (NE, Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 39, p. 594-597. 2006.

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.

HOBBS, P. R. N.; GIBSON, A.; JONES, L.; PENNINGTON, C.; JENKINS, G.; PEARSON, S.; FREEBOROUGH, K. Monitoring coastal change using terrestrial LiDAR. **Geological Society**, London, Special Publications, v. 345, p. 117-127. 2010.

JABOYEDOFF M.; LOCAT, J.; MINOIA R.; OPPIKOFER T.; TURMEL, D. **Terrestrial Lidar investigation of the 2004 rockslide along Petit Champlain Street, Québec City (Quebec, Canada)**. 4th Canadian Conference on Geohazards: From Cause to Management. May 20-24, 2008. University Laval, Quebec City, Quebec. 2008.

KURZ, T. H., BUCKLEY, S. J., HOWELL, J. A. Close range hyperspectral imaging integrated with terrestrial lidar scanning applied to rock characterization at centimetre scale. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXIX-B5, 417-422, doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B5-417-2012, 2012.

LINDENBERGH, R. A.; SOUDARISSANANE, S.; VRIES S. de; COQUET, M.; SCHIPPER, M. de; HEJBUDZKA, K.; DUIJNMAYERA, K. Aeolian Beach Sand Transport Monitored by Terrestrial Laser Scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5. United Kingdom. 2010.

LINGNAU, C.; SILVA, M.; SANTOS, D.; MACHADO, L. J. Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. **Revista Ambientia**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 85-96, 2008.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, p.477, 2008.

PESCI, A.; LODDO, F.; CONFORTI, D.: The first terrestrial laser scanner application over Vesuvius: High resolution model of a volcano crater. **International Journal of Remote Sensing**, 28 (1), 203-219. 2007.

PIETRO, L. S.; O'NEAL, M. A.; PULEO, J. A. Developing terrestrial-lidar-based digital elevation models for monitoring beach nourishment performance. **Journal of Coastal Research**, 24(6): 1555-1564. 2008.

SANTOS, A.L.S. ; AMARO, V.E.; SANTOS, M.S.T. Terrestrial laser scanner applied to monitoring beach morphological changes in a high energy coastal zone in northeast Brazil. In: 7th International Terrestrial Laser Scanning User Meeting, 2014, Rome-Italy. **International Terrestrial Laser Scanning User Meeting**, 2014. v. 1. p. 1-13. 2014.

SANTOS, M.S.T. ; AMARO, V. E.; FERREIRA, A.T.S.; SANTOS, A.L.S. Altimetria GNSS de precisão aplicada ao monitoramento da dinâmica sedimentar costeira de curta duração em escala regional. **Boletim de Ciências Geodésicas** (Online), v. 19, p. 624-638, 2013.

SANTOS, M.S.T.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S. ; SANTOS, A. L. S. Mapeamento de precisão da dinâmica costeira de curta duração em áreas de alta taxa de erosão no Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia** (Fortaleza), v. 25, p. 1-12, 2012.

SANTOS, M.S.T.; AMARO, V.E. Dinâmica sazonal de processos costeiros e estuarinos em sistemas de praias arenosas e ilhas barreiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.2, (Abr-Jun) p.151-162, 2013.

SANTOS, M.S.T.; AMARO, V.E. Rede Geodésica para o Levantamento Costeiro do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 4, p. 571-585. 2011.

SANTOS, M.S.T.; AMARO, V.E.; SOUTO, M. V. S. 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. **Revista Brasileira de Cartografia** (Impresso), v. 63, p. 663-681, 2011.

SOUTO, M.V.S. **Análise da Evolução Costeira do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, Região Sob Influência da Indústria Petrolífera**. 2009. 177f. Tese (Doutorado em Geofísica e Geodinâmica). Programa de Pós-graduação de Geofísica e Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. 2009.