

Laser Escâner Terrestre aplicado ao monitoramento da formação de terraços lamosos em estuário de macromaré, Rio Araguari, Costa Amazônica Brasileira

André Luis Silva dos Santos ¹
Venerando Eustáquio Amaro ²
Valdenira Ferreira dos Santos ³

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
venerandoamaro@gmail.com

³ Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá - IEPA
Rod. JK, km 10, s/n – 68903-280 – Macapá - AP, Brasil
valdenira.santos@iepa.ap.gov.br; valdeniraferrreira@gmail.com

Abstract. This paper evaluates surveys using Terrestrial Laser Scanning, based on Light Detection and Ranging (LiDAR) technology, to monitor the morphological changes in a section of intertidal zone, in Araguari estuary, Amapá State (AP), in Brazilian amazon coast. This mentioned coastal area it is controlled by dynamical factors that modify the intertidal zone morphology through widespread erosion/accretion processes in the short term, generating a high environmental sensitivity area. LiDAR application in that area has occurred due to the difficulty to map the estuarine tidal zone and the anthropic changes through conventional methods using theodolite, level, total station or even GNSS systems, because of their cost, operational difficulties, time or precision when collecting data in a fast, precise and accurate way. The results have displayed that during the monitoring period (25th/September/2012 to 06th/November/2013) there was a negative volumetric sediment balance of about 9,946.35m³ attributable to process of compaction of muddy sediment over a one year interval.

Palavras-chave: Terrestrial Laser Scanning, Digital Elevation Models, Amazon coast, Laser Escâner Terrestre, Modelos Digitais de Elevação, Costa Amazônica.

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto, através da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR), tem se mostrado eficiente na quantificação detalhada de dados *in situ* em diversos estudos em Geociências (Pesci, 2007; Barchik *et al.*, 2007; Jaboyedoff *et al.*, 2008; Kurz *et al.*, 2012). No Nordeste do Brasil, estudos recentes demonstraram a relevância do uso do LiDAR Terrestre (doravante apenas LT) na definição com alta precisão e acurácia da superfície de praias arenosas e com isso no monitoramento da erosão costeira de curto prazo (Amaro *et al.*, 2013a, Santos *et al.*, 2014). Contudo, não há na literatura estudos relacionados ao uso do LiDAR na caracterização e monitoramento de áreas de risco sujeitas à interferências permanentes e sazonais de erosão e sedimentação na costa amazônica. De acordo com Silveira (1998) e Santos (2006), a relevância desta região reside na conjunção de fatores como a presença do Sistema de Dispersão do rio Amazonas (Nittrouer *et al.*, 1996) e pelo regime de meso a macromarés semidiurnas (Beardsley *et al.*, 1995; Santos, 2006), potencializadas pelo fenômeno da pororoca a qual tem um importante papel nos processos erosionais e/ou deposicionais na área de estudo (Santos *et al.*, 2005); associa-se a esse fato o regime climático da região que é controlado pela presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) dos eventos *El Niño* - Oscilação Sul (ENOS), fenômenos de escalas global e regional (Ritchey *et al.*, 1989; Santos *et al.*, 2010). Tais fenômenos modificam constantemente a morfologia costeira na foz do Amazonas, em intervalos extremamente curtos, sendo considerada uma área de alta sensibilidade ambiental.

Mapear as mudanças morfológicas em zonas estuarinas submetidas a regimes de macromarés e assinaladas por terraços lamosos é extremamente difícil devido às dificuldades de levantamentos *in situ* nesses ambientes pelos métodos convencionais utilizando teodolito, nível, estação total ou até mesmo em Geodésia baseada no *Global Navigation Satellite System* (GNSS), seja pelos altos custos e tempo empreendidos na coleta e também pela dificuldade de acesso às áreas de interesse, como é o caso da região em questão. Assim, a escolha da tecnologia LiDAR ao invés de outros métodos convencionais está na aptidão da metodologia empregando o LT na representação dos ambientes com precisão, acurácia, baixo custo e mobilidade para varredura de pontos específicos e pontuais de interesse ao monitoramento. Além disso, a alta densidade da nuvem de pontos e a cobertura do LT são absolutamente apropriadas ao mapeamento de terraços lamosos com centenas de metros que caracterizam os sistemas estuarinos na área de estudo. Desse modo, os Modelos Digitais de Elevação (MDE) dos terraços lamosos podem ser comparados em intervalos temporais de curto prazo (mensais, sazonais ou anuais), fato de elevado interesse no acompanhamento da evolução dessas feições geomorfológicas em zonas costeiras amazônicas onde as dinâmicas ambientais são intensas e provocam alterações consideráveis no modelado estuarino sob a influência de macromarés e da descarga sedimentar da Bacia Amazônica.

Portanto, este trabalho apresenta a avaliação do uso da tecnologia LT no monitoramento das modificações de um trecho na zona de intermaré com terraços lamosos no baixo estuário do rio Araguari, no Estado do Amapá, através da comparação de MDE obtidos em intervalo anual, entre 25/Setembro/2012 e 06/Novembro/2013. O intuito principal deste estudo foi avaliar a alteração volumétrica causada pelos intensos e rápidos processos de erosão/deposição, com base na análise comparativa de MDE em operações de análise espacial. Neste sentido, o estudo amplia as possibilidades de aplicações da tecnologia LiDAR na quantificação de setores lamosos em análise de curto e médio prazo temporal, para melhoria do entendimento sobre influência de forçantes hidrodinâmicas marcada por regimes de macromarés e sujeitas à intensa ação da pororoca (Santos *et al.*, 2005) nos processos sedimentares no estuário do rio Araguari.

2. Metodologia

A área de estudo no baixo curso do estuário do rio Araguari corresponde ao setor entre as coordenadas $50^{\circ}18'00''\text{W}$ e $01^{\circ}21'00''\text{N}$ e $49^{\circ}50'00''\text{W}/01^{\circ}10'00''\text{N}$ (Figura 1). O acesso principal é feito pela rodovia federal BR-156 entre as cidades de Macapá e Oiapoque, até o acesso para a rodovia estadual AP-076, que liga a BR-156 a cidade de Cutias. De Cutias até a foz do estuário do rio Araguari o acesso é exclusivamente por barco até a localidade de Tabaco, na Reserva Biológica do Lago Piratuba, que possui cerca de 392.469 hectares de bioma predominante de Floresta Amazônica. De Macapá também se pode acessar o estuário a partir do Canal do Norte do rio Amazonas, adentrando o rio Uricurituba, cortando a planície costeira até alcançar o rio Araguari.

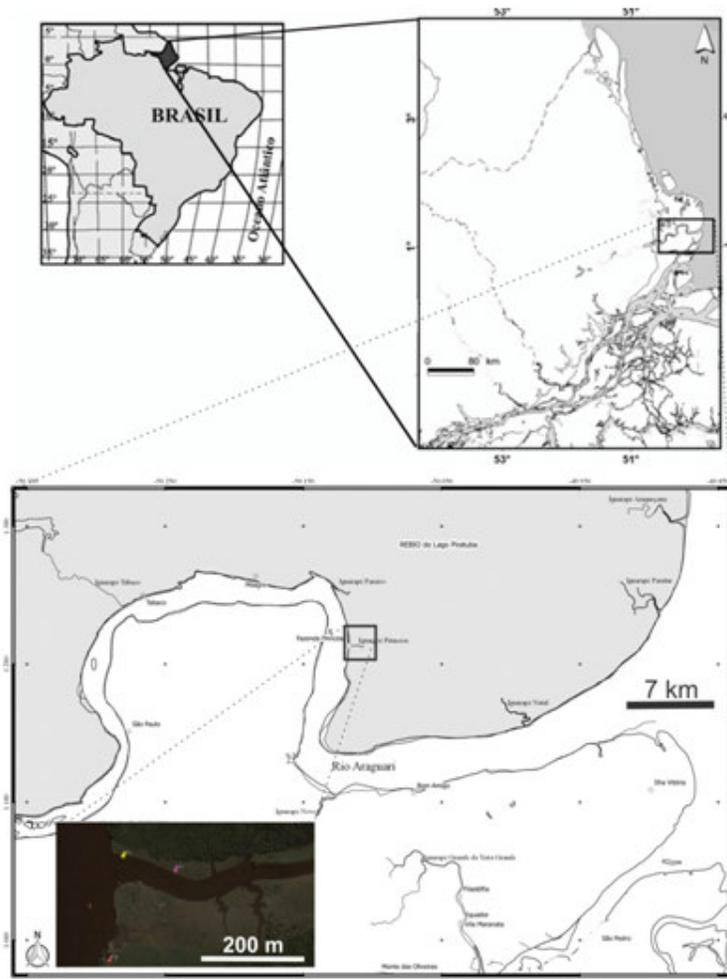


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Modificado de Santos *et al.* (2009).

O estuário do rio Araguari encontra-se sob a influência da foz do rio Amazonas, sendo o principal sistema estuarino da região costeira do Estado do Amapá, sem considerar o sistema do rio Amazonas (Santos, 2006). A sedimentação na zona de intermaré do estuário é predominantemente siltosa (Laut *et al.*, 2010), mas com taxa de deposição de sedimentos argilosos que alcança valores superiores a 2 mm para um único dia durante as marés de sizígia (Santos *et al.*, 2005).

O trecho selecionado para aplicação da metodologia encontra-se na foz do canal denominado localmente de igarapé da Princesa, localizado na margem esquerda do canal estuarino do rio Araguari (Figura 01). O canal do igarapé da Princesa está localizado a 40 km da foz do estuário do rio Araguari. Trata-se de drenagem em processo de fechamento tendo como característica marcante sua localização frontal às barras lamosas de meio do canal do rio Araguari que estão em contínuo processo de crescimento (Santos *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2009a).

2.1 Coleta e processamento dos dados

Os levantamentos com o LT foram realizados em 25/Setembro/2012 e em 06/Novembro/2013, em períodos descritos como de menor precipitação e menores descargas fluviais, durante marés de sizígia em situação de baixamar, quando as zonas de intermarés com terraços e barras lamosas ficam mais expostas (Santos *et al.*, 2006).

No levantamento de campo foi utilizado o LT modelo ILRIS-3D (*Intelligent Laser Ranging & Imaging System*) da *Optech Inc.*, instalado sobre base robótica e montado no tripé, para o imageamento em nuvem de pontos com resolução configurável de até 1,0 mm no método estático. Tais características permitem que as feições morfológicas do ambiente sejam modeladas em detalhe e, de modo a minimizar as áreas de sombreamento, realiza-se múltiplos imageamentos a partir de diferentes pontos na área de interesse, onde se instala a estação base do LT, com posterior integração das nuvens de pontos.

No georreferenciamento dos levantamentos com LT foi utilizada a estação geodésica de referência denominada IEPA 04 da Rede Geodésica de Referência do Litoral do Amapá - RGLA (Santos *et al.*, 2014b), localizada no povoado do Tabaco, distante cerca de 5 km do levantamento, de coordenadas geodésicas (x, y, z) e desvios padrão de 0,004 m N, 0,005 m E e 0,008 m h. Esta estação geodésica foi implantada com uso de equipamento GPS da marca Topcon modelo Hiper ++ com precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm e a vertical é de 5 mm + 0,5 ppm no modo estático. Assim, os levantamentos foram georreferenciados e nivelados em relação ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) através da determinação das coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude geométrica) e da altitude ortométrica em três pontos de controle: a estação base de instalação do LT e dois alvos (*targets*) posicionados em triangulação com a estação base e locados no interior da área de estudo.

As coordenadas geodésicas dos pontos de controle foram determinadas pelo posicionamento relativo estático rápido pós-processado do GNSS (MONICO, 2008) e as altitudes ortométricas (H) foram calculadas a partir das altitudes geométricas (h), obtidas pelo GNSS, com o aplicativo desenvolvido em Santos *et al.* (2013) e com uso do modelo geoidal MAPGEO 2004.

O pós-processamento da nuvem de pontos foi realizado utilizando o *software PolyWorks®*, gerando a nuvem de pontos com coordenadas (x, y, z). Todos os pontos medidos foram combinados usando os módulos AMAlign e AMSurvey do *software PolyWorks®* e exportados para o ArcGIS versão 9.3, onde foram eliminados da nuvem de pontos os itens desnecessários ao MDE da superfície lamosa, tais como casas, pontes, postes, embarcações e cercas.

As curvas de nível foram geradas também no software ArcGIS com equidistância vertical de 0,5 m, compatível com a acurácia dos modelos, pelo método de interpolação *Triangulated Irregular Network – TIN* (Santos *et al.*, 2011; Amaro *et al.*, 2013b). As curvas foram convertidas em arquivo *raster* para que se realizasse a análise comparativa entre os modelos e a quantificação.

O balanço sedimentar volumétrico foi obtido através da subtração dos MDE de cada levantamento, considerando o volume acima de cota referencial, neste caso a cota de -1,00m.

Os resultados foram apresentados em MDE destacando em cores as áreas de deposição e erosão sedimentar, de acordo com a intensidade de ocorrência desses processos no decorrer do curto período entre os levantamentos *in situ*.

3. Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta as coordenadas geodésicas, a altitude elipsoidal, os desvios padrões e altitude ortométrica dos pontos de controle (base LT e alvos) utilizados no georreferenciamento das nuvens de pontos, para os dois levantamentos. As coordenadas foram processadas e apresentadas no sistema de referência WGS84 e na projeção UTM (Zona 22 Sul).

Tabela 1 - Coordenadas geodésicas dos pontos das bases e alvos de controle, desvios padrão e altura ortométrica obtidas nos dois levantamentos utilizando LiDAR Terrestre para o igarapé da Princesa/AP.

Data Levantamento	Ponto/ Alvo	N (m)	E (m)	h (m)	sN (m)	sE (m)	sh (m)	H (m)
25/Setembro/2012	Base	143017,945	598232,062	-24,57	0,014	0,027	0,031	0,43
	Alvo 1	142982,793	598339,683	-24,539	0,014	0,027	0,031	0,461
	Alvo 2	142805,286	598198,781	-23,514	0,013	0,027	0,031	1,486
28/Novembro/2013	Base	143021,702	598223,947	-24,573	0,008	0,017	0,019	0,427
	Alvo 1	143004,883	598289,248	-24,062	0,008	0,017	0,019	0,938
	Alvo 2	142932,792	598208,59	-24,354	0,008	0,017	0,019	0,646

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

A Figura 2a mostra a nuvem de pontos sob duas perspectivas: na Figura 2a, observa-se clara definição da interface sedimentos/água, que marca a ausência de dados na área do rio Araguari e na definição do canal do igarapé da Princesa, como corrobora as fotografias da Figura 4b e 4c. Os terraços mais antigos estão em patamar acima das áreas lamosas com deposição de sedimentos recentes. As intervenções antrópicas do ambiente também foram capturadas, tais como pontes, casas de madeira, barcos, cercas, etc. Observam-se ainda os diferentes níveis de cinza de acordo com a capacidade de reflectância de cada material.

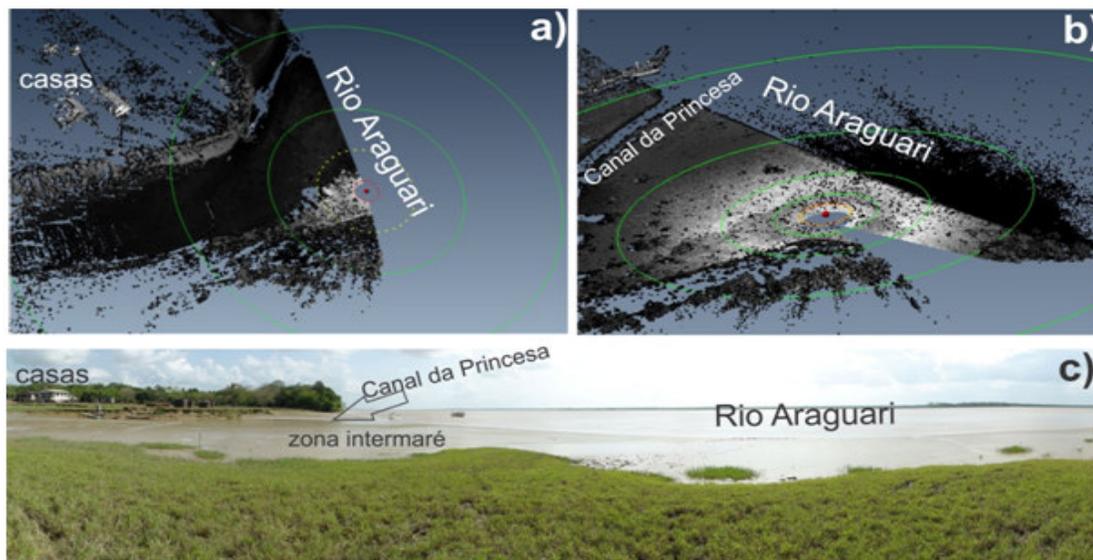


Figura 2 – Cenários da área do igarapé da Princesa: (a) Nuvens de pontos de dados coletados nos dias 25/Setembro/2012; b) Nuvem de pontos do dia 28/Novembro/2013; (c) Aspecto geral da zona de intermaré (terraço lamoso em formação), rio Araguari, igarapé da Princesa e estruturas artificiais da Fazenda da Princesa. Foto: Valdenira Santos, 25/Setembro/2012, acervo REDE 05-PETROMAR/Subprojeto AMASTRAT.

3.1–Modelos Digitais de Elevação

A Figura 3 apresenta os MDE obtidos nos dois levantamentos para o mesmo setor, revelando a mudança no perfil altimétrico (25/Setembro/2012: 3,028m / -1,327m; 06/Novembro/2013: 2,109m / -0,297m). Destaca-se a precisão decimétrica ao longo de todo o setor imageado. A análise comparativa entre os MDE revela áreas com maior deposição situadas, sobretudo, nas proximidades das margens do rio Araguari, na porção oeste das imagens, e as áreas de erosão concentradas ao longo do canal.

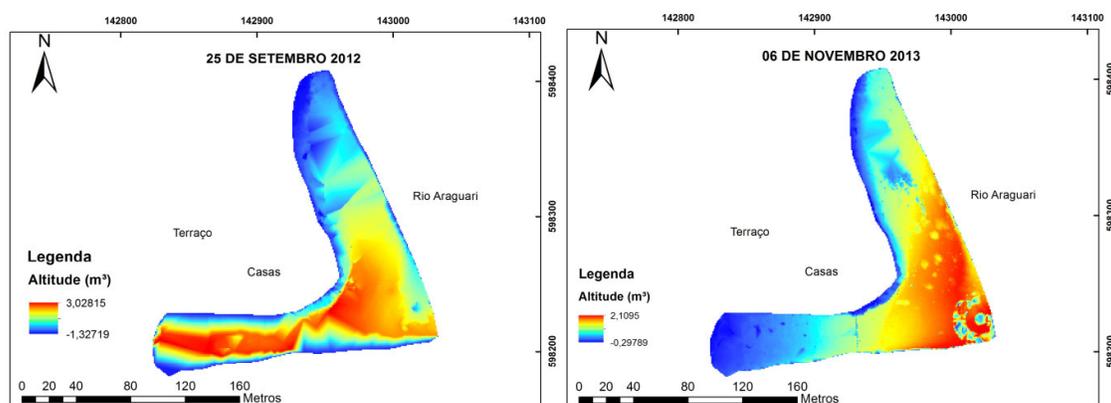


Figura 3 – Modelos Digitais de Elevação obtidos nos levantamentos com LiDAR Terrestre em (a) 25/Setembro/2012 e (b) 06/Novembro/2013, para o setor do igarapé da Princesa.

A Figura 4 indica o balanço sedimentar volumétrico mostrado com áreas de deposição e erosão, de acordo com a intensidade de ocorrência desses processos, sendo adotadas as seguintes convenções: valores negativos representam perda altimétrica (erosão) e valores altimétricos positivos representam ganho sedimentar vertical (deposição). Na área de estudo, ao longo do período de monitoramento, houve acúmulo de sedimentos ao longo de todo o igarapé da Princesa (Figura 4a), promovido pelo aporte sedimentar conduzido pelas macromarés. Algumas mudanças sutis na inclinação e elevação desta área foram observadas nas áreas às margens do rio Araguari, setor que ainda nessa fase de coleta de dados esteve submetido à intensa ação das marés, com a intensa ação de pororoca que alcançava esse setor do estuário. A diferença de volume entre os dois levantamentos para o conjunto de dados indica um balanço sedimentar negativo de $-9,946.35\text{m}^3$. Contudo, este resultado pode estar relacionado não com atividades erosivas e sim aos processos de compactação de sedimentos lamosos e incorporação aos terraços, uma vez que experimentos nos locais com medições de taxa de sedimentação e análise de imagens de satélite (Santos *et al.*, 2014c) apontam que a área encontra-se em intenso processo de deposição no período estudado.

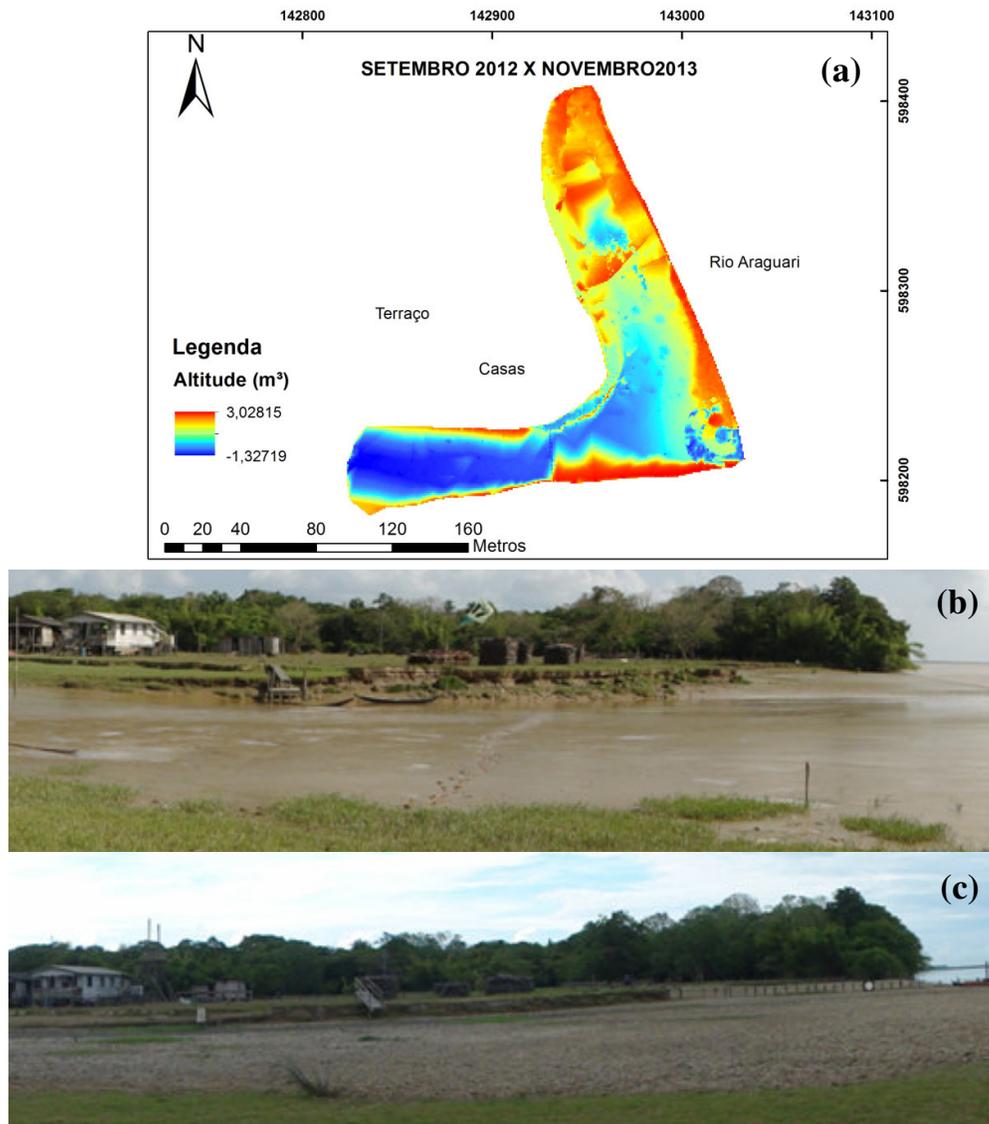


Figura 4 – Comparação entre os dois períodos de levantamentos com LiDAR Terrestre: (a) Variação volumétrica entre os dois diferentes MDE onde as zonas em vermelho indicam erosão e aquelas em azul a deposição sedimentar; (b) aspecto geral da área em 25/Setembro/2012 em baixamar, com o igarapé da Princesa contendo lama inconsolidada; (c) aspecto geral do mesmo setor em 06/Novembro/2013, também em baixamar, mostrando o sedimento já consolidado com presença de gretas de contração. Fotos: André Santos, acervo Rede 05-PETROMAR/Subprojeto AMASTRAT.

4. Conclusões

Com base em dois levantamentos usando LT em intervalo temporal de cerca de um ano (curto prazo), em momento sazonal de poucas chuvas, baixa descarga sedimentar fluvial e situação de baixamar de sizígia, foi possível mensurar a área/volume das alterações morfológicas na zona de intermaré do igarapé da Princesa, nas margens do rio Araguari. O LT atendeu às expectativas de coleta de dados em regiões de difícil acesso, comparado aos métodos tradicionais de levantamentos dessa natureza. Os MDE obtidos no escaneamento com o LT permitiram a determinação representativa do relevo de terraços lamosos com acurácia centimétrica em relação aos referenciais planimétricos e altimétricos adotados oficialmente pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), utilizando como referência as estações geodésicas da RGLA. Nos dois levantamentos com LT para o mesmo setor do

igarapé da Princesa, os MDE revelaram a mudança no perfil altimétrico (25/Setembro/2012: 3,028m / -1,327m; 06/Novembro/2013: 2,109m / -0,297m), indicando provavelmente a consolidação de sedimentos decorrente do importante acúmulo de sedimentos finos no local, com posterior compactação desse material. Por outro lado, deve-se ainda considerar a presença na Fazenda da Princesa de criação de búfalos, que contribui significativamente com o pisoteio à compactação do solo. Entende-se que a continuidade dos levantamentos pode melhorar o entendimento da dinâmica sazonal das mudanças morfológicas, correlacionando com informações dos processos sedimentares medidos nos últimos anos para diversos setores do rio Araguari.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado com recursos da Rede Cooperativa Norte-Nordeste de Pesquisa em “Monitoramento Ambiental de Áreas sob a Influência da Indústria Petrolífera” - REDE 05 - PETROMAR (CTPETRO – FINEP/PETROBRAS/CNPq), nos subprojetos AMASTRAT e CRONALOG. As atividades foram desenvolvidas com o apoio logístico do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais Aplicado a Ecossistemas Aquáticos - LASA do Centro de Pesquisas Aquáticas do IEPA e do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia da UFRN (GEOPRO/DG/UFRN). Nossos agradecimentos ao ICMBio - REBIO do Lago Piratuba pelo apoio em campo, aos pesquisadores, técnicos e estudantes do IEPA/CPAq que auxiliaram nas atividades de campo. A Carla Montenegro pelo auxílio na elaboração das figuras.

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.
- 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.
- BEARDSLEY R.C., CANDELA J., LIMEBURNER R., GEYER W.R., LENTZ S.J., CASTRO B.M., CACCHIONE D., CARNEIRO N. The M2 tide on the Amazon shelf. **J Geophy Res** 100 (C2): 2283-2319. 1995.
- 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.
- LAUT, L. L.M. ; FERREIRA, D.E.S. ; SANTOS, V.F. dos ; FIGUEIREDO JR, A.G. ; CARVALHO, M.A. ; SILVEIRA, O.F.M. Foraminifera, Thecamoebians and Palynomorphs as Hydrodynamic Indicators in Araguari Estuary, Amazonian Coast, Amapá State Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências.** 33:52-65. 2010.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: Editora Unesp, p.477, 2008.
- NITTROUER C.A., DEMASTER D.J. The Amazon shelf setting tropical, energetic, and influenced by a large river. **Cont Shelf Res** 16(5-6): 553-574. 1996.

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.

RICHEY, J. E.; NOBRE, C.; DESER, C. Amazon River Discharge and Climate Variability: 1903 to 1985. **Science** 246: 101-103. 1989.

SANTOS V.F.; Figueiredo A.G.; Silveira O.F.M.; Polidori L. **The ENSO Influence on the Amazonian Coastal Plain, Brazil**. EOS Trans. AGU, 91(26) Meet Am Suppl, Abstract OS13B-07. 2010.

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.; 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.

SANTOS, M.S.T.; SANTOS, V.F.; LOPES, A.B.; AMARO, V.; SANTOS, S.G.; JARDIM, K.A.; SILVA, M.V.; PANTOJA, J.R. Rede Geodésica para Aplicações Costeiras na Costa Amazônica, Litoral do Estado do Amapá. In: SANTOS, V.F. & TAKYAMA, L.R. (eds) . **Livro de Resumos do Workshop Técnico-Científico do Projeto AMASTRAT**. Macapá:IEPA. p.13. 2014b.

SANTOS, V. F. **Ambientes Costeiros Amazônicos. Avaliação de modificações por sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado). CPGGM, UFF/IGEO, Niterói. 306p. 2006.

SANTOS, V. F. dos. ; POLIDORI, L. ; SILVEIRA, O. F. M. Da, FIGUEIREDO, A.G. Aplicação de dados multisensor (SAR e ETM+) no reconhecimento de padrões de uso e ocupação do solo em costas tropicais – costa amazônica, Amapá, Brasil. **Rev. Bras. Geof.** .27 (suppl.1): 39-55. 2009a.

SANTOS, V. F. dos.; POLIDORI, L.; SILVEIRA, O. F. M da.; FIGUEIREDO JR, A.G. Contribuição do RADARSAT-1 para estudo do fenômeno da pororoca no estuário do rio Araguari, Amapá. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...Natal: INPE**, p. 7425-7431. 2009b

SANTOS, V. F.; FIGUEIREDO JR., A. G.; SILVEIRA, O. F. M.; POLIDORI, L.; OLIVEIRA, D. M.; DIAS, M. B.; SANTANA, L. O. Processos Sedimentares em áreas de macro-marés influenciados pela pororoca - estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil. In: Congr. ABEQUA, 10., Guarapari. **CdRom... Guarapari: ABEQUA**, 2005, 6p. 2005.

SANTOS, V.F., SILVEIRA, O.F.M.; JARDIM, K.A. 2014c. Mudanças Recentes no Estuário do rio Araguari, Costa Amazônica, Macapá, Brasil. In: SANTOS, V.F. & TAKYAMA, L.R. (eds) . **Livro de Resumos do Workshop Técnico-Científico do Projeto AMASTRAT**. Macapá: IEPA. p.10. 2014c.

SILVEIRA, O. F. M. 1998. **A Planície Costeira do Amapá. Dinâmica de Ambiente Influenciado por Grandes Fontes Fluviais Quaternárias**. Tese (Doutorado). CPGG, UFPA/CG, Belém, 215p. 1998.