Avaliação do uso de modelos LiDAR e Worldview-1 para a caracterização e monitoramento de manguezais

Luciana Satiko Arasato[1]
Cristina Maria Bentz[2]
Marisa Gesteira Fonseca[1]
Júlio Bandeira Guerra[1]
Jorge Eduardo Santos Paes[2]
Leandro Rodrigues de Freitas[2]
Ulisses Elisio Costa[1]
Silvia Luiz[1]

[1]Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda
Av. Shishima Hifumi 2911, 2°andar - 12244-000 - São José dos Campos - SP, Brasil
{luciana.arasato, julio.guerra, ulisses.costa, silvia.luiz}@geoambiente.com.br

[2]Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás- CENPES/PETROBRAS
Ilha do Fundão - 21941-598 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{cris, jorgepaes, rodriguesf}@petrobras.com.br

Abstract. Mangroves are considered good indicators of environmental impacts because these ecosystems are sensitive to the local hydrological change. Given the complex logistics of field work in areas temporarily flooded and often difficult to access, remote sensing techniques are necessary to evaluate the vegetation cover systematically and improve the traditional monitoring procedures. In this context, this study evaluated the combined use of digital terrain (DTM) and surface (DSM) models obtained from LiDAR (DTM Li and DSM Li, respectively) and WorldView-1 data (DTM WV and DSM WV, respectively) to map and monitor the mangrove structure and biomass. Individuals' height and diameter at breast height were measured in 16 plots at the Environmental Protection Area Guapimirim, in the state of Rio de Janeiro, and biomass was calculated based on allometric equations. A digital height model (DHM) was obtained from LiDAR data subtracting DTM Li from DSM Li (DHM Li) and a hybrid DHM was obtained subtracting DTM Li from DSM WV (DHM WVLi). We found significant linear relationships between both DHM Li and biomass (r^2= 0.805, $p < 0.001$) and between DHM WVLi and biomass (r^2=0.868, $p<0.001$), but no significant correlation between either DHMs and basal area or individuals' density. Results indicate that LiDAR data can be operationally applied in mangrove biomass estimation and that the combination of LiDAR and WorldView-1 data can be an alternative to lower the costs of multitemporal vegetation monitoring.

Palavras-chave: estrutura da vegetação, biomassa, modelo digital de terreno, modelo digital de superfície, modelo digital de altura, sensoriamento remoto, vegetation structure, biomass, digital terrain model, digital surface model, digital height model, remote sensing.

1. Introdução

Os manguezais ocupam as áreas costeiras nas regiões tropicais e subtropicais, sendo ecossistemas altamente produtivos (SAENGER, 1998). Atuam como filtros biológicos, retendo sedimentos e nutrientes, mantendo a qualidade da água e a biodiversidade (KUENZER *et al.*, 2011). São sensíveis a mudanças hidrológicas locais, e por isso considerados indicadores de impactos ambientais (BLASCO *et al.*, 1996). Estes impactos podem gerar alterações em todo o ecossistema, em particular na composição, estrutura e biomassa da vegetação.

A PETROBRAS mantém diversas atividades de transporte e refino em ambiente costeiro, nas proximidades de extensas áreas de manguezais realizando frequentemente estudos de caracterização e monitoramento nestes ambientes. Atualmente, a realização destes trabalhos envolve recursos humanos e logísticos consideráveis devido à complexidade do ambiente, temporariamente alagado, e as dificuldades de acessos.

Desta forma, é consenso a necessidade de métodos alternativos, que integrem novas tecnologias aos processos convencionais, para a otimização do esforço amostral em campo. Entre as novas tecnologias destaca-se o uso de dados LiDAR (*Light Detectionand Ranging*), adquiridos por sensores aerotransportados que possuem fonte de energia própria, emitindo e registrando pulsos laser (JENSEN, 2009).

Conforme Macedo (2009) parâmetros florestais como a altura do dossel e subdossel são determinados diretamente a partir da nuvem de pontos; enquanto que a estimativa da biomassa, da área basal, do volume do dossel e da densidade de árvores pode ser realizada através de modelagens. Integração com dados de outros sensores é necessária para a avaliação do índice de área foliar, cobertura de copas e biodiversidade.

Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o uso combinado de modelos de elevação de terreno e de superfície, derivados de dados LiDAR, para o mapeamento da estrutura e biomassa da vegetação de mangue. Para avaliar opções metodológicas de monitoramento com custo mais baixo, foi utilizada a combinação destes dados com um modelo digital de superfície gerado a partir do par estereoscópico de imagens WorldView-1.

Os manguezais da Área de Proteção Ambiental (APA) Guapimirim, na Baía de Guanabara (RJ) foram selecionados para estudo devido à disponibilidade de dados de campo, no Programa de Caracterização e Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e Estação Ecológica (ESEC) Guanabara, em atendimento a licença de instalação do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ).

2. Metodologia

2.1. Dados de Campo

Os dados de campo utilizados foram coletados em 16 parcelas na APA Guapimirim (RJ), no período entre agosto de 2011 e agosto de 2012, no âmbito do Programa de Caracterização e Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e ESEC Guanabara (HABTEC, 2013). Além da identificação das espécies vegetais, foram medidos a altura e o diâmetro do tronco a 1,3 m do solo (Diâmetro à Altura do Peito - DAP). A partir desses dados foram calculadas as densidades, altura média e máxima, área basal total e média e biomassa (Tabela 1), os quais foram relacionados com os dados gerados a partir dos produtos de sensores remotos.

Tabela 1 - Parâmetros da estrutura vegetacional e biomassa estimada das parcelas medidas em campo na APA Guapimirim (RJ).

Parcela	Área da parcela (m^2)	Densidade (indiv/m^2)	Biomassa (kg/m^2)	Altura média (m)	Altura máxima (m)	Área basal total (m^2)	Área basal média (m^2)
C03	300	0,19	6,88	4,01	11,87	0,49	0,009
C04	225	0,15	3,90	6,98	12,70	0,41	0,012
C07	252	0,21	8,11	6,20	13,67	0,51	0,009
C09	375	0,18	12,21	6,22	12,27	0,78	0,011
C10	150	0,50	9,77	6,56	8,23	0,38	0,005
C13	225	0,49	1,51	4,20	9,70	0,48	0,004
C14	255	0,14	11,87	9,65	14,10	0,47	0,013
C15	300	0,17	11,13	8,73	10,37	0,41	0,008
C17	270	0,13	10,64	9,82	12,17	0,56	0,016
C18	225	0,18	8,17	6,20	9,07	0,49	0,012
C19	288	0,24	17,30	8,86	16,20	0,62	0,009
C21	300	0,23	13,26	11,50	13,60	0,53	0,008
C26	195	0,17	12,45	8,90	12,37	0,29	0,008
C30	195	0,14	10,95	7,72	9,83	0,31	0,012
C31	300	0,20	14,31	10,97	15,80	0,62	0,011
C32	204	0,24	14,75	11,24	14,10	0,42	0,009

A densidade foi calculada dividindo o número total de indivíduos encontrados na parcela pela sua área. Para a altura máxima de indivíduos em cada parcela, foi considerada a média dos três indivíduos mais altos. A altura média é a média aritmética das alturas dos indivíduos da parcela. A área basal dos indivíduos (g) foi calculada a partir da fórmula (SCHAEFFER-NOVELLI e CINTRÓN, 1986):

$$g\ (m^2) = 0{,}00007854\ (DAP\ cm^2)$$

A área basal média foi calculada pela área basal total dividida pelo número de indivíduos da parcela. Para o cálculo da biomassa aérea dos indivíduos nas parcelas foram selecionadas as equações alométricas descritas na literatura por Soares e Schaeffer-Novelli (2005) para a *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* e Medeiros e Sampaio (2008) para *Avicennia schaueriana*, espécies encontradas na APA Guapimirim.

2.2. Dados LiDAR

O imageamento para aquisição dos dados LiDAR foi realizado pelo sistema aerotransportado Riegl 560 da empresa HANSA Geofísica e Aerolevantamento. A grande maioria das coletas ocorreu nos dias 11 e 12/12/2012, no período de maré mais baixa, melhor condição para o imageamento em áreas alagáveis.

Os modelos digitais de terreno (MDT Li) e de superfície (MDS Li) foram gerados a partir do processamento da nuvem de pontos, em processo supervisionado, no software Terrascan, com 0,5 m de resolução espacial. A Tabela 2 apresenta as informações técnicas dos produtos gerados.

Tabela 2 – Informações técnicas dos produtos obtidos pelo imageamento LiDAR realizado pela empresa HANSA.

Área total imageada	*90 km²*
Sistema de referência geodésico	*WGS84*
Sistema de projeção	*UTM*
Densidade de pontos	*2 pontos/m²*
Precisão altimétrica	*15 cm*
Precisão planimétrica	*50 cm*

2.3. Dados WorldView-1

As imagens do par estereoscópico do WorldView-1 foram adquiridas no dia 28/10/2012 com aproximadamente 90% de sobreposição em uma mesma órbita (estereoscopia *along track*). Foram disponibilizadas com nível de processamento *Ortho Ready Standard Stereo* (CHENG; CHAAPEL, 2008).

O modelo digital de superfície (MDS) foi gerado no ERDAS por estéreo-correlação e cálculo automático de paralaxe, com 1 m de espaçamento entre pixeis. Utilizou-se um modelo matemático polinomial calculado a partir dos RPCs (*Rational Polynomial Coefficients*), e 22 GCPs (*Ground Control Points*); sendo 18 levantados em campo e 4 obtidos em feições pontuais notáveis no MDT LiDAR.

Nuvens e sombras de nuvens foram mascaradas, restringindo a extração do MDS somente às áreas livres destes alvos.

2.4. Modelos Digitais de Altura (MDA)

O modelo de altura LiDAR (MDA Li) foi obtido através da subtração dos MDT Li e MDS Li (Figura 1).

Com o intuito de avaliar opções que reduzam a necessidade de repetidos levantamentos de dados LiDAR em trabalhos de monitoramento, foi gerado um modelo de altura híbrido. Este modelo resultou da subtração entre os valores do MDS WorldView-1 e o MDT Li. O modelo de altura resultante (MDA WvLi) foi gerado com 1m de resolução espacial.

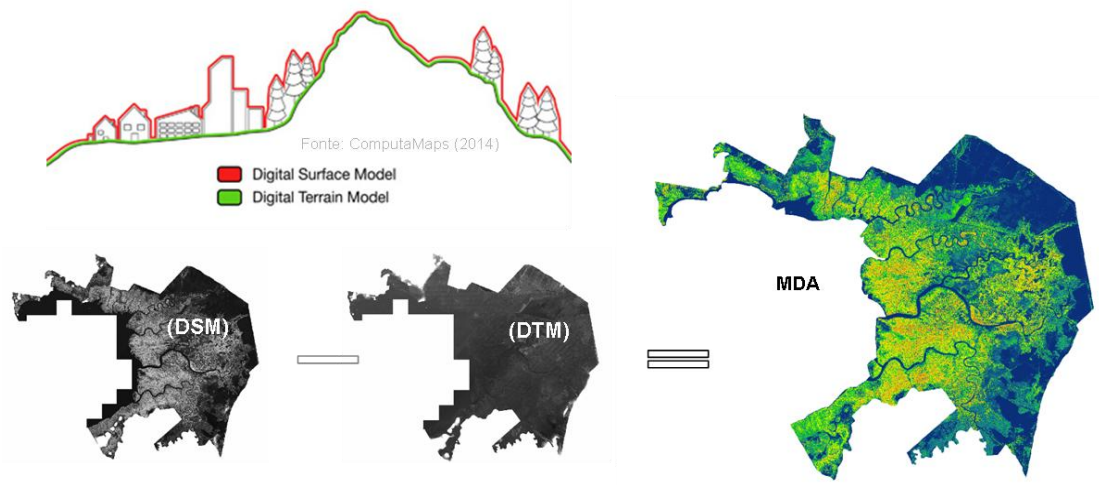


Figura 1- Representação esquemática da obtenção do Modelo Digital de Altura LiDAR.

2.5. Análise dos dados

O relacionamento entre os dados de campo MDA Li e MDA WvLi foi feito por análise de regressão linear. A validação do mapa de biomassa proposto foi realizada comparando-se os resultados modelados com os obtidos através de medidas em campo em 16 parcelas, não consideradas na elaboração do modelo de regressão.

3. Resultados e Discussão

3.1.Modelos Lidar (MDA Li)

O gráfico de dispersão entre a biomassa da vegetação (kg/m²) das 16 parcelas amostradas e a altura média correspondente no MDA Li sugere uma relação linear entre as duas variáveis (Figura 2). A regressão linear apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,805 ($p<0,001$), indicando que este modelo explica de forma significativa aproximadamente 80% da variação na biomassa.

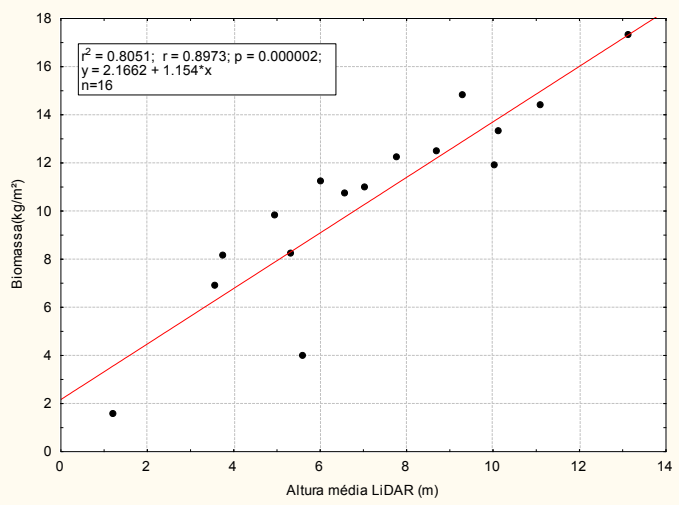


Figura 2 - Gráfico de dispersão e análise de regressão entre biomassa da vegetação estimada com dados de campo (kg/m^2) e altura média na área da parcela no MDA LiDAR.

Assim, o modelo estimado (Equação 1) foi aplicado ao MDA Li para gerar o mapa de biomassa nas áreas de mangue da APA de Guapimirim (Figura 3).

Biomassa parcela (kg/m^2)= 2,1662+1,154 x altura média no MDA LiDAR (m)(Eq.1)

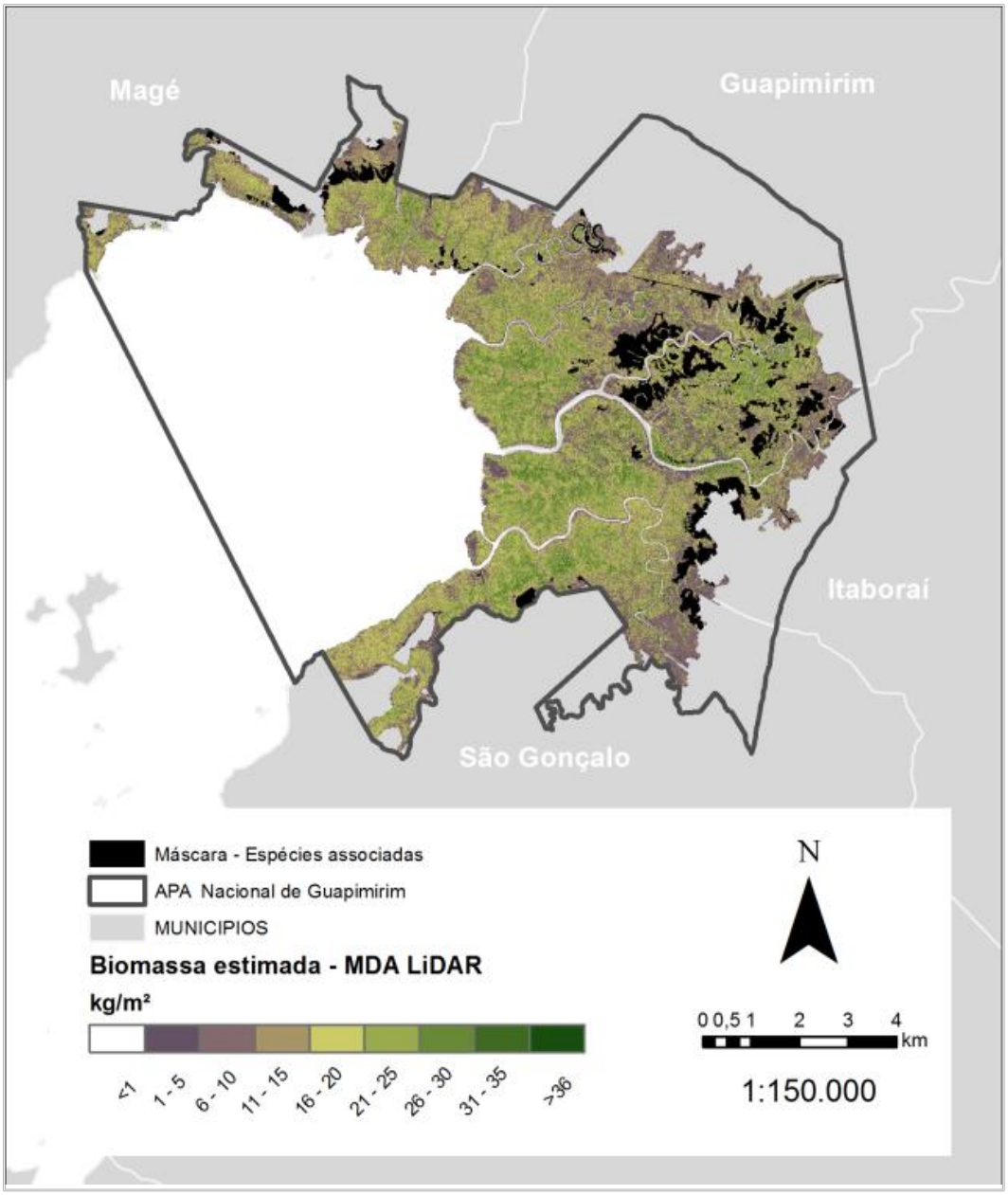


Figura 3 - Estimativa de biomassa na área mapeada como floresta de mangue na APA Guapimirim (RJ) a partir do MDA do LiDAR.

Verificou-se que os valores modelados não diferem significativamente daqueles estimados diretamente através das medições em campo em parcelas não incluídas na elaboração do modelo (Teste de Mann-Witney, U=132,00, p=0,669; Tabela 3), apresentando forte correlação (Figura 4).

Tabela 3 - Valores de biomassa estimados através de medidas de campo e através do MDA LiDAR (n=16).

(Kg/m^2)	**Média**	**Mínimo**	**Máximo**	**Desvio Padrão**
Biomassa Campo	11,564	1,606	16,454	4,103
Biomassa Modelada	12,244	3,951	16,490	3,142

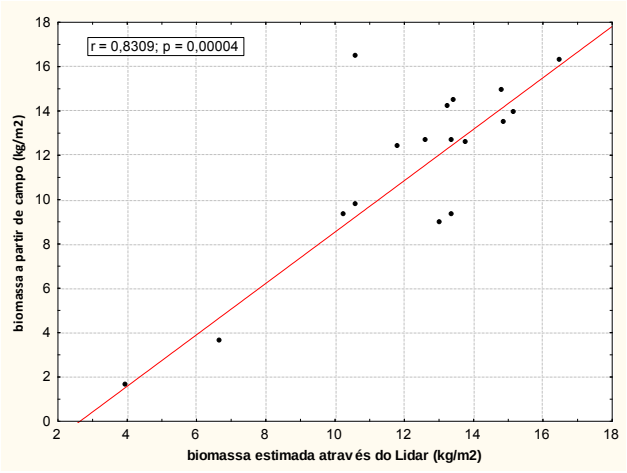
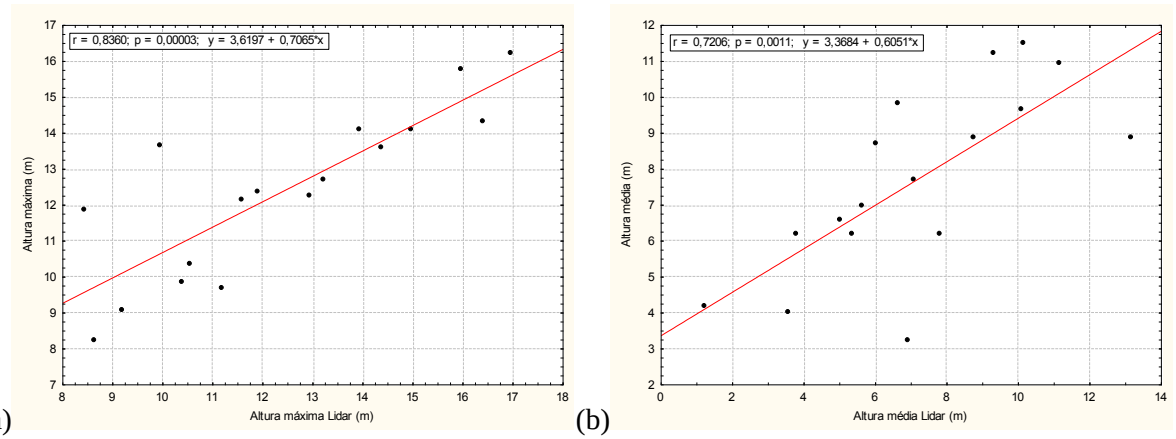


Figura 4 - Gráfico de dispersão e análise de correlação entre a biomassa estimada com dados de campo (kg/m^2) e a biomassa estimada através do MDA LiDAR.

Como esperado, a altura máxima dos indivíduos medidos em campo é fortemente correlacionada com a altura máxima estimada através do MDA Li (Figura 5a). Observa-se também correlação significativa entre a altura média dos indivíduos medida em campo e a altura média no MDA Li, embora esta seja mais fraca do que no caso da altura máxima (Figura 5b).



(a) (b)

Figura 5 - (a) Correlação entre a média dos três maiores indivíduos (altura máxima) de cada parcela medida em campo e a altura máxima estimada a partir do MDA LiDAR. (b) Correlação entre a altura média de indivíduos em cada parcela medida em campo e a altura média estimada a partir do MDA LiDAR.

Os coeficientes de correlação se apresentaram muito baixos entre a altura média do MDA Li e a soma da área basal dos indivíduos (r = 0,26), a área basal média (r = 0,23) e a densidade de indivíduos (r = -0,25) nas parcelas.

3.2. Modelo Híbrido (MDA WvLi)

O MDA WvLi e do MDA Li, apresentaram forte correlação entre os valores (Figura 6), não havendo diferença estatisticamente significativa (t = -1,018; p = 0,317).

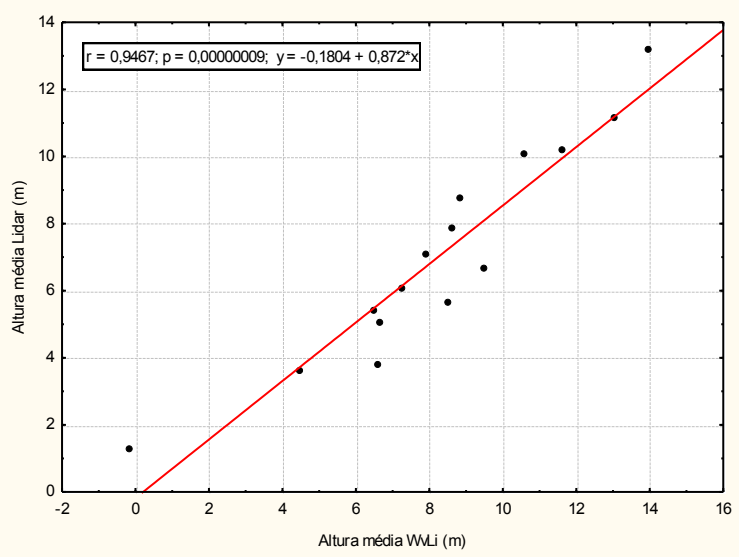


Figura 6 - Correlação entre a altura média estimada através do MDA LiDAR e entre aquela estimada a partir do MDA WvLi.

A biomassa (kg/m²) medida em campo apresenta uma relação linear em relação à altura média estimada pelo MDA WvLi (R^2=0,868, p<0,001; Figura 7).

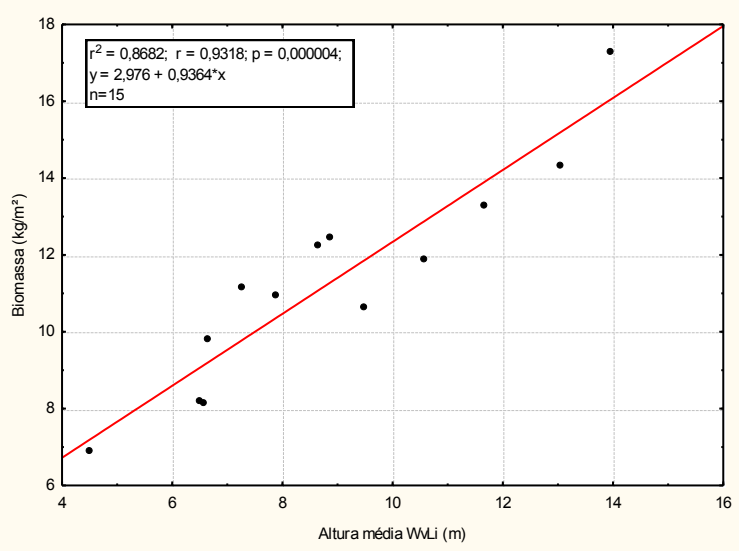


Figura 7 - Gráfico de dispersão e análise de regressão entre biomassa medida em campo (kg/m²) e altura média estimada do MDA WvLi.

Foram encontradas fortes correlações positivas entre a altura máxima e média dos indivíduos nas parcelas medidas em campo com a altura máxima (r=0,734; p=0,0018) e média (r=0,832; p=0,0001) no MDA WvLi, como esperado. Não foram encontradas correlações significativas entre a altura média no MDA WvLi e a soma da área basal dos indivíduos (r=0,305; p=0,269), a área basal média (r=0,423; p=0,116) e a densidade de indivíduos nas parcelas (r=-0,494; p=0,061).

4. Conclusões

Os dados LiDAR demonstraram grande potencial para o monitoramento da vegetação de mangue.

As análises demonstraram alta correlação entre os valores de biomassa, altura média e máxima estimados com dados de campo e os estimados a partir dos dados LiDAR.

Também foi encontrada alta correlação entre os valores de biomassa, altura média e máxima estimados com dados de campo e os estimados a partir dos dados do modelo de altura híbrido, gerado com a subtração do MDS Worldview-1.

Modelos de altura híbridos podem ser uma alternativa de menor custo para o monitoramento de vegetação. Neste caso o levantamento LiDAR seria realizado somente em fase inicial, para obtenção dos MDT e MDS. Considerando-se que o MDT não varia significativamente no período de monitoramento, MDSs derivados de estereoscopia óptica indicariam a variação multitemporal das alturas da vegetação.

Dados estereoscópicos de sensores remotos orbitais podem ser adquiridos com alta repetitividade em áreas extensas, com diferentes resoluções espaciais e qualidades altimétricas e planimétricas, conforme o sistema utilizado.

Os resultados do presente estudo são bastante promissores e incentivam o uso operacional da metodologia desenvolvida não só em manguezais, mas em outros tipos florestais de difícil acesso, como por exemplo, na floresta amazônica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a PETROBRAS pelo financiamento da pesquisa e autorização para disseminação dos resultados, em especial a equipe de implantação do COMPERJ pela disponibilização dos dados do Programa de Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e ESEC Guanabara.

Referências Bibliográficas

BLASCO, F.; SAENGER, P.; JANODET, E. Mangroves as indicators of coastal change. **Catena**, vol. 27, p.167-178, 1996.

CHENG, P.; CHAAPEL, C. Using WorldView-1 Stereo Data with or without Ground Control: Automatic DEM Generation. **GEOInformatics**, p.35-39,2008. Disponível em: <http://www.pcigeomatics.com/pdfs/GeoInformatics08_WorldView-1_DEM.pdf>. Acesso em: 31 out 2012.

HABTEC. **Programa de Monitoramento dos Manguezais da APA Guapimirim e ESEC Guanabara - Subplanos Vegetação - Relatório final.** Rio de Janeiro, 2013. 280p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remotodo Ambiente: Uma perspective em recursos terrestres.** 2ª.ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 598p.

KUENZER, C.; BLUEMEL, A; GEBHARDT, S.; QUOC, T.V.; DECH, S. Remote Sensing of Mangrove Ecossystems: A Review. **Remote Sensing**, vol. 3, pp. 878-929, 2011.

MACEDO, R.C. **Estimativa volumétrica de povoamento clonal de *Eucalyptus sp.* Através de laser scanner aerotransportado**. 2009. 143 p. INPE-15743-TDI/1488. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/02.13.04.40>.

MEDEIROS, T.C.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil.**Wetlands Ecol. Manage.**, v. 16, p. 323-330, 2008.

SAENGER, P. Mangrove vegetation: an evolutionary perspective. **Mar. Freshwater Res.**, vol. 49, n.4, p.277–286, 1998.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y; CINTRÓN, G. **Guia para estudo de áreas de manguezal: Estrutura, função e flora.**São Paulo: Caribbean Ecological Research. 1986. 150p.

SOARES, M.L.G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Above-ground biomass of mangrove species. I. Analysis of models. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v.65, p.1-18, 2005.