



ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DADOS OLI/ LANDSAT-8, ALOS/ PRISM E LIDAR PARA A REALIZAÇÃO DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: ESTUDO DE CASO DO PARQUE NACIONAL DE JERICOACOARA, CEARÁ, BRASIL

Rodrigo C. Moraga¹; Miguel da G. Albuquerque¹; Jean Marcel de A. Espinoza¹;
Deivid C. Leal Alves²; Davis Pereira de Paula³ & Renan G. P. Guerra⁴

¹Departamento de Geoprocessamento, Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS, 96201-460, Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: rmoraga.rs@gmail.com.

²Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

³Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará – UECE, 60714-913, Fortaleza, Ceará, Brasil.

⁴Secretaria de Meio Ambiente do Ceará – SEMACE. 60135-238, Fortaleza, Ceará, Brasil.

RESUMO

O Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ) é uma Unidade de Conservação Federal sob administração do ICMBio, que sofre com a expansão imobiliária e o turismo. Nesta perspectiva, o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é um instrumento técnico/ político para otimização do uso dos territórios e de políticas públicas. O objetivo principal do estudo foi o de avaliar o sistema LiDAR e dados de sensoriamento remoto (LANDSAT-8 e ALOS), no intuito de caracterizar as vantagens e desvantagens de cada plataforma de dados, usando como estudo de caso o PNJ. Para a etapa de processamento, classificação supervisionada, NDVI e NDWI, foi utilizada como base, uma única cena do PNJ, referente ao ano de 2014. O mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado no software MultiSpec, abrangendo oito classes de uso e cobertura do solo. O classificador MAXVER foi utilizado para a classificação supervisionada, e a avaliação da qualidade foi submetida a uma análise da Matriz de Confusão e do índice Kappa. A partir do mapa de uso e cobertura do solo, do Modelo Digital de Elevação e das cotas topográficas, foram extraídos os ZEE's para cada plataforma de dados. Os resultados obtidos pelo LiDAR foram superiores aos do ALOS, tanto na

qualidade dos dados, quanto na precisão e detalhamento dos alvos. Apesar de apresentar um elevado custo para obter os produtos planialtimétricos, a tecnologia LiDAR proporciona resultados satisfatórios para zoneamentos costeiros.

Palavras-chave: Zona costeira, Unidade de Conservação ambiental, Tratamento de Imagens Digitais, Diagnóstico ambiental.

ABSTRACT

Jericoacoara National Park (JNP) is a Federal Conservation Unit under the administration of ICMBio, which present a process of real estate expansion and tourism. In this perspective, the Ecological-Economic Zoning (EEZ) is a technical/ political instrument for optimizing the use of territories and public policies. This study aims to evaluate the EEZ of the Jericoacoara National Park using remote sensing and LiDAR data, in order to characterize the advantages and disadvantages of each data platform. A single National Park scene, for the year 2014, was used for the supervised classification, NDVI and NDWI. The land cover and user map was elaborated in the Multispec software, covering eight classes of land use and land cover. The MAXVER classifier was used for



the supervised classification, and the quality evaluation was submitted to the analysis of Confusion Matrix and the Kappa Index. From the land use and coverage map, digital elevation model and topographic coordinates, the EEZ's were extracted for each data platform. The results obtained by LiDAR were superior to those of ALOS, both in data quality, accuracy and target details. Although it presents a higher cost to obtain the planialtimetric products, this technology provides satisfactory results for coastal zoning.

Key-words: Coastal Zone, Environmental Conservation Unit, Digital Imaging, Environmental Diagnostics.

INTRODUÇÃO

O litoral do estado do Ceará possui cerca de 573km de extensão e é composta, principalmente, por uma zona de praia, campos de dunas móveis e fixas e por falésias, tornando-se um objeto importante para o turismo regional, uma vez que a maior parte da população deste estado se concentra neste espaço (BEZERRA & MAIA, 2012). Inserido na zona costeira do Ceará está o Parque Nacional de Jericoacoara - PNJ (Decreto s/n de 4 de fevereiro de 2002 e revogado pela Lei Federal nº 11.486/ 2007), que é uma Unidade de Conservação (UC) criada com o objetivo de proteger e preservar amostras dos ecossistemas costeiros e de seus componentes, possibilitando o controle e a realização de pesquisa, educação ambiental, recreação e o ecoturismo (BRASIL, 2007).

O PNJ pertence ao Bioma Zona Costeira e Marinha (ICMBIO, 2011), onde predominam feições de restinga, manguezal e vegetação pioneira psamófila (adaptada a solos arenosos), bem como, o serrote da Pedra Furada, formado por um conjunto de rochas metamórficas pré-cambrianas aflorando em superfícies e em parte coberto por sedimentos coluviais e eólicos. O complexo de dunas móveis é caracterizado por lagoas rasas permanentes, periódicas e lagoas profundas, também permanentes, pelo tabuleiro pré-

litorâneo, que representa a faixa de transição entre o domínio das terras altas e da planície costeira, gramados halofílicos (altas concentrações de sal) e as praias arenosas (FERNANDES, 1985 *apud* MATIAS & NUNES, 2001; BEZERRA & MAIA, 2012).

A partir da década de 1980, a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA (Lei Federal nº 6.938/ 1981) estabeleceu o Zoneamento Ambiental, mais tarde denominado Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE, previsto no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC (Lei Federal nº 7.661/ 1988), como instrumento de gestão da Zona Costeira (MMA). Em linhas gerais, o ZEE (Decreto nº 4.297/ 2002) pretende viabilizar o desenvolvimento sustentável, com vistas a compatibilizar o crescimento econômico com a conservação ambiental, através da delimitação de zonas ambientais e atribuição do uso e atividades compatíveis com as limitações de cada uma delas, com o propósito sustentável dos recursos naturais disponíveis e o equilíbrio dos ecossistemas existentes (BRASIL, 2002; O ECO, 2018).

No caso do PNJ, o intenso fluxo de veículos que acessa a vila de Jericoacoara resultou em um elevado número de trilhas que tem impactado negativamente o transporte eólico de sedimentos, além de influenciar na dinâmica da fauna e da flora habitantes e, conseqüentemente, na fragmentação de lagoas costeiras e na compactação do solo (MEIRELES; DANTAS; SILVA, 2011).

As técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto, associadas com SIG's, são bastante aplicadas para mapeamento de uso e cobertura do solo, sendo fundamentais para o entendimento das modificações atuais e posteriores da paisagem (JUNIOR *et al.*, 2015). O uso de critérios como limites administrativos, microrregiões, polígonos irregulares, setores geomorfológicos ou zonas homogêneas no ZEE, podem estabelecer as diferenças regionais e a



compreensão da distribuição geográfica zonal (JUNIOR *et al.*, 2015). Desta forma, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar o Zoneamento Ecológico-Econômico do Parque Nacional de Jericoacoara, referente ao ano de 2014, com o auxílio de dados provenientes do sistema LiDAR (Light Detection and Ranging) e dos satélites ALOS/ PRISM (ALOS – Advanced Land Observing Satellite; PRISM – Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping) e OLI/ LANDSAT-8 (OLI – Operation Land Imager; LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite), com o intuito de caracterizar as vantagens e desvantagens de cada plataforma de dados.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional de Jericoacoara (PNJ) (Figura 1), com área aproximada de 8.850 hectares (ICMBIO, 2011), situa-se no litoral oeste do estado do Ceará, a cerca de 300km da capital Fortaleza, compreendendo os municípios de Jericoacoara e Cruz (MEIRA; BRITO; MORAIS, 2016) e um pequeno trecho de Camocim. Esta UC encontra-se, atualmente, sob administração do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

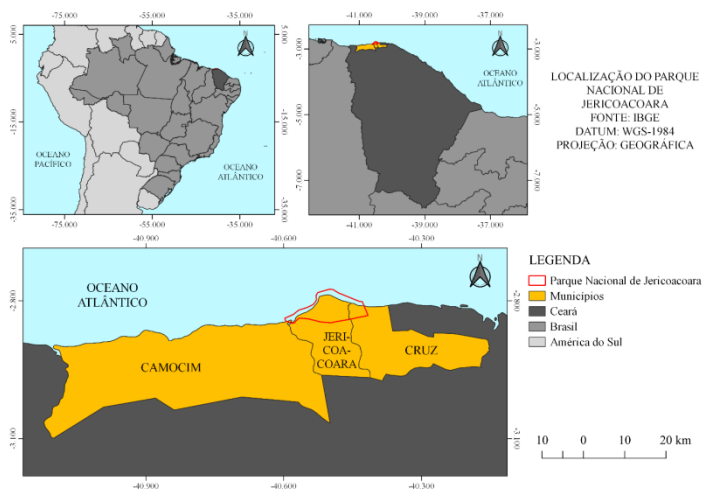


Figura 1: Localização da área de estudo. Representação temática da localização do Parque Nacional de Jericoacoara e dos municípios abrangidos pelo Parque.

O clima da região é do tipo quente e úmido, com chuvas de verão e temperaturas oscilantes entre 32°C e 21°C. O período de seca tem duração semestral, com a ocorrência de chuvas ocasionais nos meses de setembro e outubro, com pluviosidade média anual de 1.364mm (ICMBIO, 2011). O Parque Nacional apresenta um clima mais úmido, com forte ação eólica, promovida por ventos predominantes no sentido Leste – Nordeste, que influenciam na dinâmica da geomorfogênese local (ARRUDA, 2007).

A constituição vegetal do PNJ está inserida no complexo vegetacional das Formações Pioneiras, as quais podem ser divididas em: Marinha (Pm) – praias, restingas, dunas, planícies de influência eólica, tabuleiro litorâneo; Flúvio-marinha (Pf) – mangue e apicum; Fluvial e/ ou Lacustre (Pa) – riachos e lagoas (VELOSO, *et al.*, 1991 *apud* ICMBIO, 2009). O extremo-sul do Parque e a zona de amortecimento constituem uma região ecótona, que apresenta um misto de composição florística do Cerrado, da Restinga e da Caatinga, podendo, ainda, ser subdivididas em outras fitofisionomias (VELOSO, *et al.*, 1991 *apud* ICMBIO, 2009).

O Parque Nacional de Jericoacoara abriga uma cadeia trófica faunística bastante complexa, com alta diversidade específica, representada, em sua maioria, por espécies pertencentes aos grupos de Avifauna (aves), Ictiofauna (peixes cartilaginosos e ósseos), Artrópodes e aos Cetáceos (baleias e golfinhos), além de outros menos predominantes, como, a Mastofauna (mamíferos), a Herpetofauna (repteis e anfíbios), os Cnidários, os Briozoários (águas-vivas), os Moluscos e os Poríferos (esponjas) (ICMBIO, 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi escolhida uma cena que correspondesse ao período do aerolevante sobre a região (06, 07, 09, 11 e 18 de julho de 2014). Neste



caso, a cena escolhida refere-se ao ponto 218 e órbita 062, com data de imageamento de 27 de julho de 2014 e obtida pelo sensor óptico OLI do satélite LANDSAT-8, através do portal eletrônico Earth Explorer do USGS. A diferença temporal de alguns dias em relação às datas de coletas em campo foi devida ao fato de que a base de dados dispunha de uma única cena no período supracitado, 11 de julho, com a presença de nuvens no local que poderia inviabilizar a análise da imagem. Desta forma, a imagem selecionada não foi considerada como significativa para ser descartada, ao levar-se em conta que não haveria mudança considerável no ambiente devido ao curto espaço de tempo entre um período e outro.

O arquivo disponibilizado veio no formato GEOTIFF, com projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum planimétrico WGS84 (World Geodetic System) e zona 24N, sendo reprojeta para 24S, uma vez que as imagens orbitais disponibilizadas por este sítio estão projetadas para o Norte verdadeiro.

A base cartográfica das Unidades de Conservação Federais utilizada é proveniente do sítio do ICMBio (<http://www.icmbio.gov.br/portal/>), com dado vetorial-polygonal, no formato shapefile, em multiescala que varia de 1:10.000 – 1:250.000 e disponibilizada gratuitamente ao público. A UC utilizada para o recorte da cena corresponde ao Parque Nacional de Jericoacoara, com especificação vetorial-polygonal, no formato shapefile e escala de 1:100.000, de acordo com o Decreto responsável pela criação do PNJ. O Quantum GIS (QGIS), uma multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre com código-fonte aberto foi o software escolhido para o tratamento dos seguintes procedimentos:

- ✓ Extração do polígono referente ao Parque Nacional de Jericoacoara;
- ✓ Pré-Processamento da imagem digital;
- ✓ Recorte do PNJ;
- ✓ Construção de mapas temáticos;

- ✓ Overlay.
Paralelamente, o software SIG ArcGIS, versão 10.5, foi utilizado para realizar outros procedimentos:
 - ✓ Correção das imagens ALOS e LiDAR;
 - ✓ Interpolação;
 - ✓ Extração das classes de uso e cobertura do solo;
 - ✓ União das classes de uso e cobertura do solo para gerar as classes do ZEE.

O software utilizado para realizar o processo de fusão da imagem (Pan sharpening), das bandas multiespectrais foi o ENVI 5.0. A classificação supervisionada e o cálculo de área ficaram por conta do programa MultiSpec versão 3.4. Para auxiliar na identificação e classificação dos alvos, fez-se uso do software Google Earth.

Para a aquisição dos dados LiDAR, o voo de perfilamento à *laser* e a cobertura fotogramétrica foram realizados à uma velocidade de 148km/h, com o sensor RIEGL LMS-Q680i, em uma taxa de repetição do pulso de 150 quilohertz (khz) PRR, instalado e operacionalizado com a aeronave CESSNA 182P. Os levantamentos de campo foram executados com receptores GNSS de dupla frequência, com observação mínima e simultânea de seis satélites, precisão da diluição das posições (PDOP) ≤ 3 , posicionamento relativo estático, taxa de coleta de 15 segundos e tempo de ocupação variável em função do comprimento da linha da base.

Os dados do MDE ALOS/ PRISM foram obtidos, gratuitamente, através do sítio da JAXA. Estes dados foram disponibilizados com uma resolução de 30m de pixel.

A escolha das classes temáticas utilizadas obedeceu a classificação estabelecida pelo Relatório Final de Mapeamento de Uso e Cobertura do Solo elaborado pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará - SEMACE (Quadro 1).



Classe de Uso e Cobertura do Solo	Observação
Vegetação natural arbórea/ arbustiva	Compreendendo a vegetação com porte arbóreo e/ ou arbustivo em áreas não classificadas como mangue
Vegetação natural herbácea	Vegetação rasteira
Vegetação natural de mangue/ Apicum	Vegetação existente nas planícies flúviomarinhas
Área edificada ou em edificação	Área com ocupação existente ou com infraestrutura implantada para ocupação. Esta classe inclui as principais estradas (estaduais e federais)
Sedimento arenoso	Sedimento existente no trecho com depósito eólico (praia, dunas, planície de deflação e lagoas interdunares), podendo ocorrer, também, no Tabuleiro Pré-litorâneo e em barras de canais fluviais
Sedimento lamoso	Sedimento existente na planície flúviomarinha e em áreas úmidas fluviais com alta concentração de matéria orgânica
Corpos d'água	Rios e lagos naturais
Oceano	Corpo d'água com água salgada relacionado as franjas de mar que bordejam o litoral
Área degradada com solo exposto	Áreas degradadas que apresentam solo exposto

Quadro 1: Classes de uso e cobertura do solo. Fonte: SEMACE (2016).

A seguir é apresentado um fluxograma com os procedimentos realizados nesse estudo (Figura 2).

A imagem Landsat foi pré-processada no software Quantum GIS através do complemento Semi-automatic Classification Plugin (SCP), onde foram aplicadas as correções atmosférica (com exceção da banda termal) e radiométrica, a partir dos metadados da imagem. A função Band Set do SCP foi utilizada para agrupar todas as bandas multiespectrais (B1-B7), exceto a pancromática (PAN-B8), em uma única imagem de baixa resolução (pixel de 30m) para o procedimento de recorte a partir da base cartográfica.

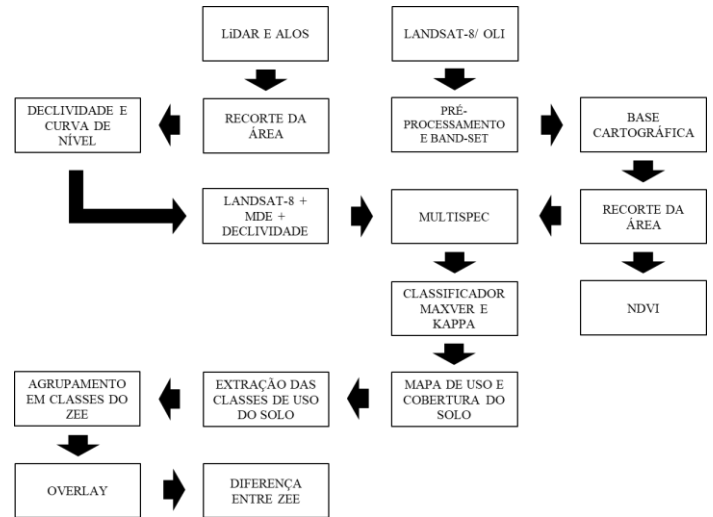


Figura 2: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Após o processamento da imagem foi realizada uma classificação supervisionada, utilizando-se o classificador de Máxima Verossimilhança – MAXVER (pixel a pixel), através do software MultiSpec. A classificação baseou-se em nove das 15 classes temáticas estabelecidas pelo ZEE do estado do Ceará pela dificuldade de se visualizar estas classes restantes: Oceano, Sedimento arenoso, Vegetação natural de Mangue/ Apicum, Corpos d'água, Vegetação natural herbácea, Vegetação natural arbórea-arbustiva, Área degradada com solo exposto, Área edificada ou em edificação e Sedimento lamoso.

A qualidade das classificações ficou submetida à análise da Matriz de Confusão e ao índice Kappa (Equação 1).

$$Kappa = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c (x_i + x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^c (x_i + x_{+i})} \quad (1)$$

Onde: $\sum_{i=1}^c x_{ii}$ é somatório da diagonal da Matriz de Confusão; n é o número de amostras coletadas; c é o número total de classes; x_i é a soma da linha i da Matriz de Confusão; e x_{+i} a soma da coluna i da Matriz de Confusão.

Os parâmetros utilizados para avaliar a presença e/ ou ausência da vegetação e sua densidade, foram o



índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI (Equação 2), atribuindo a nomenclatura das bandas do LANDSAT-8:

$$NDVI = \frac{B5-B4}{B5+B4} \quad (2)$$

Onde: B4 é a banda do vermelho, B5 é o valor da reflectância da banda no infravermelho próximo e B6 é o valor da reflectância da banda no infravermelho médio.

A partir da classificação supervisionada foi elaborado um mapa temático de uso e cobertura do solo para o dimensionamento de cada uma das classes temáticas. Através das imagens de alta resolução da plataforma Google Earth, foi possível avaliar os produtos da classificação, com um período de imageamento próximo ao da imagem orbital do LANDSAT-8, para auxiliar na identificação dos alvos durante a classificação supervisionada.

Para os dados ALOS/ PRISM e LiDAR foi possível extrair o modelo digital de elevação (MDE), de forma distinta, para ambas as plataformas. Com os MDE (ALOS e LiDAR) corrigidos, foram extraídas as curvas de nível e declividade de ambos. As curvas de nível foram obtidas com espaçamento equidistante de um 1m (ALOS e LiDAR) e de 5m (ALOS e LiDAR).

Através do empilhamento da imagem LANDSAT-8, do MDE ALOS e da declividade obtida pelo ALOS foram criados arquivos shapefile, a partir da classificação supervisionada do Multispec. O mesmo procedimento foi realizado com os dados de MDE e declividade do Lidar. Estas classes foram inseridas nas três classes estabelecidas do ZEE (Corredores Fluviais, Frente Marinha e Terras Altas), de forma que fosse possível avaliar as diferenças dos subprodutos gerados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Avaliando os resultados para a imagem LANDSAT-8, a performance da Matriz de Confusão foi de 99,6 % e a estatística Kappa foi de 98 % (Tabela 1), sendo considerada uma excelente classificação. As classes que apresentaram precisão mais baixa foram Área antrópica e Água. Na classe Área antrópica, a precisão foi de 78,2 %, pois foram identificadas 57 amostras como pertencentes a esta classe, não o sendo. No caso dos corpos d'água, representados pela classe Água, a precisão foi de 67,4 %, com uma acurácia de 62,1 %, pelo fato de terem sido reconhecidas 42 amostras da classe Oceano como sendo Água.

Classe	Acurácia (%)	Oceano	Sedare	Veg arb	Veg herb	Man-gue	Área antro	Água	Sed lam	Amostr a
Oceano	99,7	273 29	0	0	0	0	27	42	0	273 98
Sedare	100	0	520 6	0	0	0	0	0	0	520 6
Veg arb	99,9	0	0	843	0	0	1	0	0	844
Veg herb	98,8	0	0	0	1985	0	25	0	0	201 0
Mangue	99,6	0	0	0	0	669	0	0	3	672
Área antro	100	0	0	0	0	0	204	0	0	204
Água	62,1	0	1	0	48	0	4	87	0	140
Sed lam	100	0	0	0	0	0	0	0	116	116
TOTAL		273 29	520 7	843	2033	669	261	12 9	119	365 90
Precisão (%)		100	100	100	97,6	100	78,2	67,4	97,5	
Perf	36439/ 36590									
Perf (%)	99,6									
Kappa (%)	98									
Variância	0,000									

Tabela 1: Classificação supervisionada para LANDSAT-8 com o classificador MAXVER.

Observando os resultados da classificação para o ALOS, a performance da Matriz de Confusão foi de 99,7 % e a estatística Kappa foi de 99,3 % (Tabela 2), o que significa que a classificação foi excelente e obteve resultados melhores que os obtidos pelo



LANDSAT-8. Nesta amostragem, a classe que apresentou acurácia mais baixa foi Água (61,4 %), porque, para o ALOS, foram reconhecidas outras três classes como pertencentes a esta classe, ficando, também, com uma precisão de 61,4 %. No caso dos corpos d'água, representados pela classe Água, em comparação com o LANDSAT-8, a acurácia diminuiu de 62,1 % para 61,4 %. Esta redução foi influenciada pela amostragem da classe Oceano (54 amostras como Água).

Classe	Acurácia (%)	Oceano	Sedare	Veg arb	Veg herb	Man-gue	Área antro	Água	Sed lam	Amostras
Oceano	99,8	27344	0	0	0	0	0	54	0	27398
Sedare	100	0	5206	0	0	0	0	0	0	5206
Veg arb	100	0	0	844	0	0	0	0	0	844
Veg herb	100	0	0	0	2010	0	0	0	0	2010
Mangue	99,6	0	0	0	0	669	0	0	3	672
Área antro	100	0	0	0	0	0	204	0	0	204
Água	61,4	0	2	0	48	0	4	86	0	140
Sed lam	100	0	0	0	0	0	0	0	116	116
TOTAL		27344	5208	844	2058	669	208	140	119	36590
Precisão (%)		100	100	100	97,7	100	98,1	61,4	97,5	
Perf	36479/36590									
Perf (%)	99,7									
Kappa (%)	99,3									
Variância	0,000									

Tabela 2: Classificação supervisionada para ALOS/ PRISM com o classificador MAXVER.

Quanto à tecnologia LiDAR, a performance da Matriz de Confusão foi de 99,7 % e a estatística Kappa foi de 99,2 % (Tabela 3), considerando a classificação como excelente, apresentando melhores resultados que os obtidos pelo LANDSAT-8, mas não melhores que os obtidos pelo satélite ALOS. Nesta amostragem, as

classes com os valores mais baixos se repetem. Contudo, a classe Água aumentou o seu percentual (69,4 %), pela redução de amostragens erradas (38 amostras da classe Oceano). Em contrapartida, a classificação da Área antropizada foi prejudicada, apresentando uma precisão de 85,4 %, pois considerou áreas pertencentes à Oceano, Vegetação arbórea e Arbustiva e Mangue como suas.

Classe	Acurácia (%)	Oceano	Sedare	Veg arb	Veg herb	Man-gue	Área antro	Água	Sed lam	Amostras
Oceano	99,8	27333	0	0	0	0	26	38	1	27398
Sedare	100	0	5206	0	0	0	0	0	0	5206
Veg arb	99,9	0	0	843	0	0	1	0	0	844
Veg herb	100	0	0	0	2010	0	0	0	0	2010
Mangue	99	0	0	0	0	665	4	0	3	672
Área antro	100	0	0	0	0	0	204	0	0	204
Água	61,4	0	2	0	48	0	4	86	0	140
Sed lam	100	0	0	0	0	0	0	0	116	116
TOTAL		27333	5208	843	2058	665	239	124	120	36590
Precisão (%)		100	100	100	97,7	100	85,4	69,4	96,7	
Perf	36463/36590									
Perf (%)	99,7									
Kappa (%)	99,2									
Variância	0,000									

Tabela 3: Classificação supervisionada para o sistema LiDAR com o classificador MAXVER.

A partir dos algoritmos utilizados para a extração do NDVI (Figura 3), bem como, da máscara de vegetação, as áreas com maior densidade vegetal encontram-se, em sua maioria, ao sul do parque, na formação de dunas fixas e de manguezal, sendo compostas, principalmente, por vegetação arbórea e arbustiva (verde), com agrupamentos menores mais ao centro e ao norte, nas planícies de deflação e do promontório (Pedra Furada).

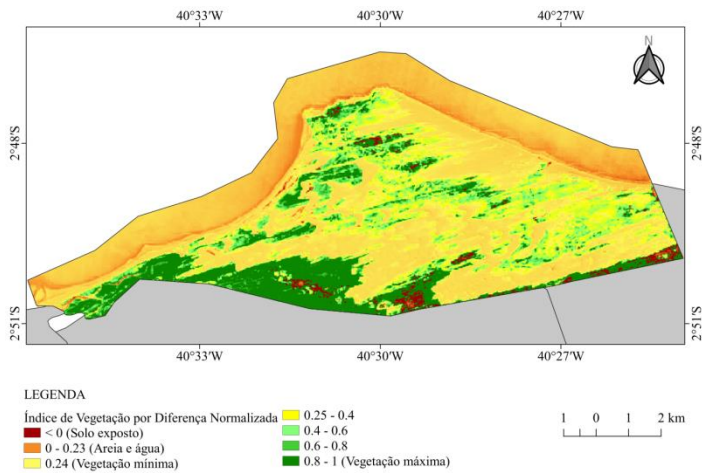


Figura 3: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para o Parque Nacional de Jericoacoara.

Analisando o mapa de declividade gerado para o Parque Nacional de Jericoacoara, a partir do MDE do satélite ALOS (Figura 4), observa-se que a região é basicamente plana, com algumas pequenas elevações (preto) e outras maiores, representadas por dunas (vinho) (Figura 4-A) e afloramentos rochosos da Pedra Furada (laranja), principalmente, que correspondem a formação de rochas Neoproterozoicas. Destas elevações, o trecho com maior destaque encontra-se na região norte do parque (Figura 4-B), no Promontório, contemplado por formações rochosas esculpidas pela erosão ao longo do tempo geológico. De fato, não fica evidente a identificação dos objetos pelo baixo detalhamento, por conta da resolução espacial de 30m de cada pixel, supondo-se que haja a superestimação dos valores de alguns alvos para a declividade.

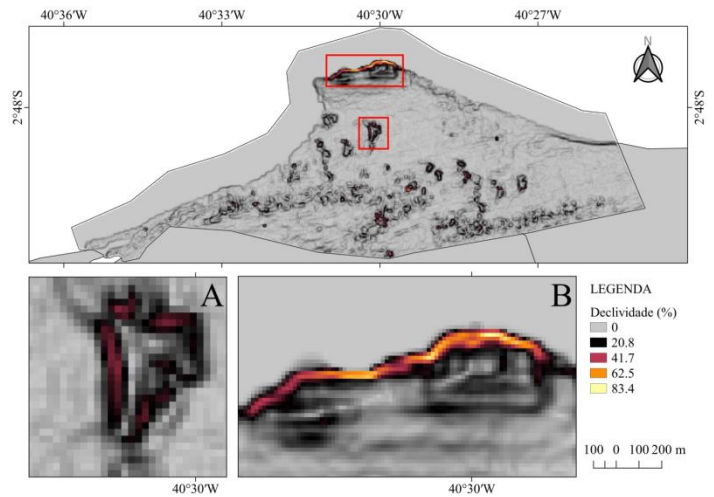


Figura 4: Mapa de declividade para o Parque Nacional de Jericoacoara a partir do MDE do satélite ALOS.

Conforme a Resolução Federal CONAMA n° 303, de março de 2002, na qual dispõe sobre os parâmetros, definições e limites das Áreas de Preservação Permanentes (APP), foi realizado o cálculo de declividade para a obtenção das áreas com declives acima de 30 %, para o devido enquadramento da lei. Neste sentido, o resultado obtido pelo satélite ALOS não foi satisfatório, uma vez que, devido à baixa resolução espacial, este realçou poucos pontos, espalhados ao longo da área de estudo, com exceção do afloramento rochoso (Pedra Furada) ao norte do parque, no qual, devido ao seu dimensionamento, este satélite conseguiu captar.

Ao observar o mapa de declividade do LiDAR, o nível de detalhamento, por conta de sua alta resolução espacial, permite-nos descrever com clareza as regiões mais íngremes e mais suaves de um determinado alvo, como, no caso, das dunas barcanas (Figura 5-A) e das formações rochosas no Promontório (Figura 5-B). Além disso, o nível de detalhamento dos dados é maior, descrevendo a feição e tornando-a mais próxima da realidade. Neste sentido, o LiDAR respondeu muito bem a esta especificidade, apresentando um resultado bastante satisfatório, no que diz respeito às APP, possibilitando, em campo, outras medições para o



devido enquadramento e delimitação da zona de amortecimento.

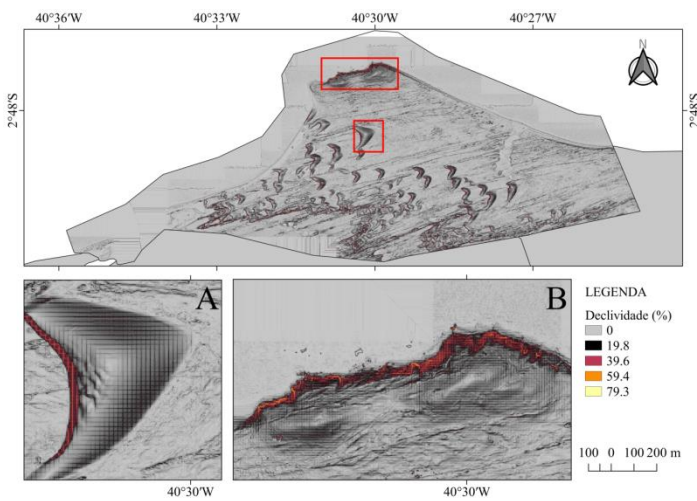


Figura 5: Mapa de declividade para o Parque Nacional de Jericoacoara a partir do MDE do sistema LiDAR.

A classificação supervisionada, oriunda do Multispec, resultou em oito classes de uso e cobertura do solo para o satélite LANDSAT-8, para o sistema LiDAR e para o satélite ALOS, estes dois últimos, por meio da fusão entre a imagem do satélite LANDSAT-8 com o MDE e a declividade de cada tecnologia (ALOS e LiDAR). Com isso, foram gerados três subprodutos, na forma de mapas temáticos.

Para gerar as classes do ZEE referentes ao satélite ALOS e ao sistema LiDAR, as unidades geoambientais foram agrupadas em três sistemas ecológicos principais, sendo, Terras Altas, Corredores Fluviais e Frente Marinha (Figuras 6 e 7). Cada agrupamento levou em consideração as peculiaridades de cada geossistema, como, por exemplo, as características dominantes de cada ambiente. Juntamente com os geossistemas, a parte urbana foi incluída no sistema de Frente Marinha, devido a sua localização geográfica. Entretanto, a zona urbana deve ser enquadrada em Zona de Proteção Prioritária (ZP1), devido ao grau de vulnerabilidade da região com o assentamento urbano.

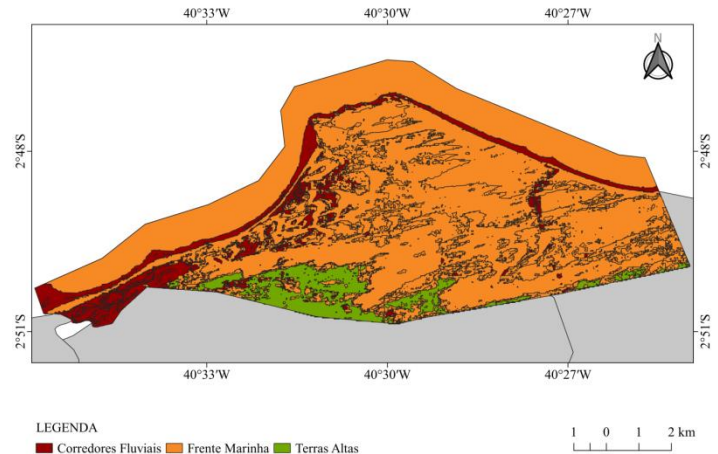


Figura 6: Divisão dos sistemas ecológicos no Parque Nacional de Jericoacoara, a partir dos dados do satélite ALOS.

Ao comparar a espacialização dos dados LiDAR e ALOS, é possível observar algumas diferenças, como no caso dos Corredores Fluviais. A região de praia, segundo a ilustração do ALOS está incluída no sistema de Corredores Fluviais, ao contrário do que se vê no zoneamento do LiDAR, onde, parte da costa está inserida nos Corredores Fluviais, como os manguezais, e a outra parte, aonde se encontram os costões rochosos, estão na Frente Marinha.

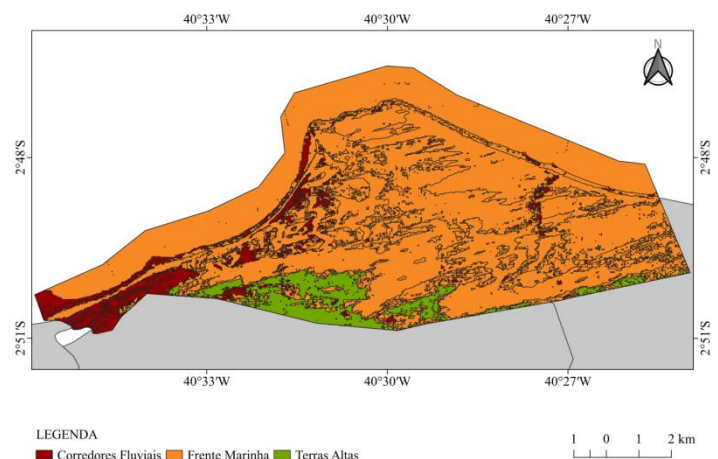


Figura 7: Divisão dos sistemas ecológicos no Parque Nacional de Jericoacoara, a partir dos dados do sistema LiDAR.

De fato, Silva *et al.* (2007), enquadram os costões rochosos na Frente Marinha, conforme delineado pelo



LiDAR. Isto se deve ao fato de que, quando foram extraídas as curvas de nível de ambas as tecnologias, estas foram obtidas com as suas respectivas resoluções espaciais, sendo, de 0,5m para o LiDAR e de 30m para o ALOS.

CONCLUSÕES

O Zoneamento Ecológico-Econômico, como instrumento de gestão da Zona Costeira e importante viabilizador do desenvolvimento sustentável, através da aliança entre a economia e meio ambiente, delimitando as zonas ambientais e impondo restrições para o uso dos recursos naturais, respeitadas às suas limitações, com vistas ao equilíbrio dos ecossistemas, é uma importante ferramenta para o planejamento urbano e ambiental.

O uso de geotecnologias para auxiliar na caracterização dos ambientes do ZEE podem proporcionar ao usuário uma resposta rápida, com precisão e detalhamento apropriados. A utilização do sistema LiDAR e dos satélites ALOS/ PRISM e LANDSAT-8 para caracterização dos alvos, identificação dos corpos d'água e da vegetação, bem como, para a visualização das Áreas de Preservação Permanentes no Parque Nacional de Jericoacoara foi satisfatória, especialmente pelos produtos oriundos do sistema LiDAR.

Desta forma, com base nos resultados apresentados, o sistema LiDAR demonstrou ser superior ao satélite ALOS, especialmente, nos quesitos resolução espacial e precisão, sendo apropriado para estudos ambientais e para o planejamento urbano, devido a sua riqueza em detalhes. Entretanto, esta tecnologia não é gratuita e a leitura dos seus dados requer equipamentos com capacidade avançada de processamento. Outro aspecto importante é que este tipo de tecnologia não é automatizada e dependente do clima para se realizar o aerolevanteamento.

Por outro lado, a disponibilização dos dados ALOS é gratuita e seu uso vem a ser mais indicado para alvos com maior dimensão espacial, ou seja, que não exijam muito detalhamento. Desta forma, para estudos mais específicos, como zoneamentos ambientais, por exemplo, este tipo de tecnologia não é o mais indicado, por conta do nível de detalhamento das informações planialtimétricas e da capacidade de reconhecimento dos alvos.

Da mesma forma como ocorre com o ALOS, a disponibilização dos dados LANDSAT-8 também é gratuita. Comparado ao LiDAR e ao ALOS/ PRISM, os produtos gerados da classificação supervisionada foram inferiores aos derivados do LiDAR, mas superiores aos gerados do ALOS, especialmente no quesito uso e cobertura do solo. Por fim, em termos comparativos, os dados provenientes de Lidar se mostraram mais indicados para estudos de Zoneamento Ecológico-Econômico.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Geoprocessamento do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS, *campus* Rio Grande e à Secretaria de Meio Ambiente do Ceará – SEMACE.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, Maíra Gomes Cartaxo de. Parque Nacional de Jericoacoara: Zoneamento Ambiental para o Plano de Manejo. 2007. 132 f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- BEZERRA, L. J. C.; MAIA, L. P. Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do estado do Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, Fortaleza, 45(1), 47-55, 2012. (doi: <http://dx.doi.org/10.32360/acmar.v45i1.142>).



BRASIL. Decreto s/n., de 4 de fevereiro de 2002. Cria o Parque Nacional de Jericoacoara, redefine os limites da Área de Proteção Ambiental de Jericoacoara, no Estado do Ceará e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 fev. 2002. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/Jericoacoara.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2018.

_____. Resolução n. 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 13 mai. 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em: 02 jan. 2019.

_____. Decreto n. 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 11 jul. 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm. Acesso em: 02 jun. 2018.

_____. Lei n. 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 mai. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7661.htm. Acesso em: 02 jun. 2018.

_____. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm. Acesso em: 02 jun. 2018.

_____. Lei n. 11.486, de 15 de junho de 2007. Altera os limites originais do Parque Nacional de Jericoacoara, situado nos municípios de Jijoca de

Jericoacoara e Cruz, no Estado do Ceará, revoga o Decreto n. 90.379, de 29 de outubro de 1984 e o Decreto s/n. de 4 de fevereiro de 2002 e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 jun. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11486.htm#art7. Acesso em: 02 jun. 2018.

ICMBIO. Parna de Jericoacoara. Plano de manejo do Parque Nacional de Jericoacoara. Contextualização da Unidade de Conservação. Diário. 2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/Contextualizacao.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

_____. ICMBIO. Parna de Jericoacoara. Plano de manejo do Parque Nacional de Jericoacoara. Relatório dos pesquisadores. Diário. 2009. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/Relatorio_pesquisadores.pdf. Acesso em: 10 jun. 2018.

_____. ICMBIO. Parna de Jericoacoara. Plano de manejo do Parque Nacional de Jericoacoara. Relatório do Meio Físico. Diário. 2009. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/Relatorio_meiofisico.pdf. Acesso em: 10 jun. 2018.

JUNIOR, C. A. da, S. *et al.* Conversão do uso e ocupação do solo no noroeste da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. 2015, João Pessoa. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, João Pessoa: INPE, 2015, p. 2559-2566.

O ECO. Jornalismo Ambiental. Dicionário Ambiental: O que é o Zoneamento Ecológico-Econômico. Diário. 2018. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27545-o-que-o-zoneamento-ecologico-economico/>. Acesso em: 02 jun. 2018.

MATIAS, L. Q.; NUNES, E. P. Levantamento florístico da área de proteção ambiental de Jericoacoara, Ceará. *Acta Botanica Brasilica*, Belo



Horizonte, 15(1): 35-43. 2001. ISSN 0102-3306. (doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062001000100005>).

MEIRA, S. A.; BRITO, D. da S.; MORAIS, J. O. de. Cartões postais como ferramenta de divulgação da geodiversidade do Parque Nacional de Jericoacoara, Ceará, Brasil. RGA, Roraima, v. 10, n. 2, p. 41-55, 2016.

MEIRELES, A. J. A.; DANTAS, E. W. C.; SILVA, E. V. Parque Nacional de Jericoacoara: trilhas para a sustentabilidade. Fortaleza: Edições UFC, 2011.

SILVA, L. A. C. *et al.* Zoneamento Ecológico-Econômico da zona costeira do estado do Ceará. In: CONGRESSO DA SOBER. 45. 2007, Londrina. Anais do XLV Congresso da Sociedade Brasileira de

Economia, Administração e Sociologia Rural, Londrina: UEL, 2007, p. 1-20.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO CEARÁ. SEMACE. Reestruturação e atualização do mapeamento do projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – zona costeira e unidades de conservação costeiras. Relatório final de mapeamento de uso e cobertura do solo. Fortaleza: SEMACE, 2016.

VELOSO, H. P.; FILHO, A. L. R. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: CDDI, 1991.