

CARACTERIZAÇÃO DE FEIÇÕES DA PLANÍCIE COSTEIRA DE ICAPUÍ (CE) UTILIZANDO IMAGENS SENTINEL-2

Cláudio Ângelo da Silva Neto¹, Allison de Oliveira Maia², Cynthia Romariz Duarte³ e Michael Vandestein Silva Souto⁴

¹ Programa de Graduação em Geologia – Universidade Federal do Ceará (UFC) – claudioasn@gmail.com; ² Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE) – Universidade Federal do Ceará (UFC) – allisonmaia@yahoo.com.br; ³ Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará (UFC) – cynthia.duarte@ufc.br; e ⁴ Departamento de Geologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) – michael.souto@geologia.ufrn.br

RESUMO

A evolução quaternária da planície costeira de Icapuí ainda gera discussões a respeito de sua gênese. O sensoriamento remoto oferece recursos capazes de contornar o problema da homogeneidade composicional das feições geralmente presentes no litoral. Neste contexto, composições híbridas utilizando imagens do satélite Sentinel-2 foram geradas a fim de melhor definir os compartimentos geomorfológicos existentes na área em estudo. A aplicação de técnicas de processamento digital de imagens, como conversão RGB-IHS, aplicação de filtros, realces no histograma e álgebra entre bandas, realçou e diferenciou feições costeiras continentais e submersas da planície costeira de Icapuí, contribuindo para uma melhor compreensão sobre os eventos holocênicos que têm moldado seu litoral e oferecendo uma técnica que pode ser replicada para a caracterização de ambientes costeiros semelhantes.

Palavras-chave — Icapuí, planície costeira, sensoriamento remoto, sentinel-2, conversão RGB-IHS.

ABSTRACT

The quaternary evolution of the coastal plain of Icapuí still raises discussions about its genesis. Remote sensing offers resources capable of circumventing the problem of the compositional homogeneity of the features usually present on the coast. In this context, hybrid compositions using images from the Sentinel-2 satellite were generated in order to better define the geomorphological compartments in the study area. The application of digital image processing techniques, such as RGB-IHS conversion, filter application, histogram enhancement and band algebra, enhanced and differentiated continental and submerged coastal features of the coastal plain of Icapuí, contributing to a better understanding of the events Holocene who have shaped their coastline and offering a technique that can be replicated for the characterization of similar coastal environments.

Keywords — Icapuí, coastal plain, remote sensing, sentinel-2, RGB-IHS conversion.

1. INTRODUÇÃO

A compreensão da evolução costeira quaternária envolve o entendimento de processos associados à dinâmica de ambientes como planícies costeiras, praias, restingas, bancos de areia, terraços marinhos e estuários, bem como sua relação com os principais agentes responsáveis pela criação de tipos específicos de formas de terreno nestas zonas [1].

Neste contexto, uma área que ainda gera discussões a respeito dos fenômenos geológicos que condicionaram sua formação é a planície costeira de Icapuí, localizada no extremo-leste do Estado do Ceará. Ela possui uma forma convexa, com aproximadamente 30 quilômetros de extensão de litoral, sendo limitada a norte pelo Oceano Atlântico, a sul por rochas sedimentares de falésias inativas e a sudeste pela fronteira com o município de Tibau, localizado no Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1).

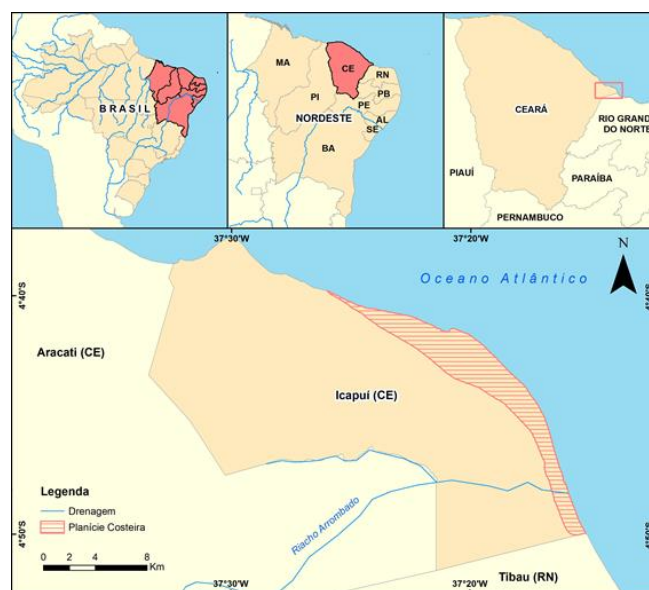


Figura 1. Localização da área em estudo.

Esta área é composta por um complexo conjunto de unidades geomorfológicas, destacando-se falésias ativas e inativas, gerações de dunas, terraços marinhos, cordões litorâneos, lagoas, além uma extensa faixa de praia arenosa distribuída ao longo de toda a costa, com dimensões que

variam de centenas de metros, no setor leste e sudeste, a algumas dezenas de metros no setor central e oeste. Além disso, uma grande zona estuarina associada com canais de maré é destacada na porção central da área (Figura 2), sendo ocupada atualmente por tanques de carcinicultura, salinas e vegetação de manguezal [2, 3].

Toda esta variedade geomorfológica torna esta região atrativa sob vários pontos de vista científicos, como pesquisas sobre a sua gênese e a relação entre a atividade antrópica e o uso e ocupação do solo das unidades geoambientais da área. Neste contexto, o sensoriamento remoto é uma ferramenta que oferece recursos que auxiliam a interpretação de feições costeiras, expandindo a percepção sensorial do ser humano através da visão sinóptica dada pela visão aérea ou espacial e da possibilidade de se obter informações em regiões do espectro eletromagnético inacessíveis à visão humana.

No Brasil, o sensoriamento remoto, em conjunto com técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), tem sido sistematicamente utilizado em estudos relacionados ao ambiente costeiro, em especial na porção setentrional do litoral nordestino [4-7]. Em ambientes costeiros recentes, o uso de composições coloridas RGB por vezes não é suficiente para individualizar as feições existentes devido à homogeneidade composicional entre as feições presentes no litoral, que são, majoritariamente, depósitos compostos por sedimentos ricos em quartzo. Essa dificuldade foi um fator motivador na busca de uma técnica que pudesse destacar diferenças sutis entre os alvos da área e que fosse possível de ser replicada para outros ambientes similares.

Composições híbridas em imagens do satélite Landsat 8 foram utilizadas no estudo da morfologia costeira do município de Macau (RN), identificando feições geológicas e geomorfológicas da região [8]. Assim, com base em seus resultados, proximidade geográfica e semelhança geomorfológica entre as áreas, este trabalho propõe o uso de composições HRGBI similares para a caracterização da planície costeira de Icapuí, porém utilizando imagens do sensor MSI / Sentinel-2 – que possuem maior resolução espacial (Figura 2) – e implementando filtros de realce e índices como MNDWI, favorecendo a compartimentação geomorfológica das feições costeiras continentais e marinhas observadas na área de estudo.

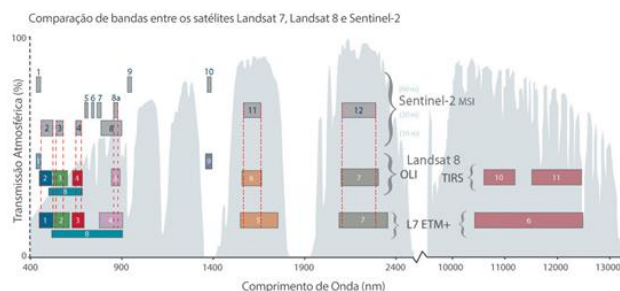


Figura 2. Comparação dos intervalos espectrais dos sistemas Landsat 7, Landsat 8 e Sentinel-2. Adaptado de <<https://eros.usgs.gov/sentinel-2>>.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foram adquiridas imagens Sentinel-2 (MSI) correspondentes à quadrícula 24MXV, na data de 28 de outubro de 2018. Utilizando o *software* ENVI® 5.3 foi feita a correção atmosférica das imagens por meio do método *Dark Object Subtraction*. Também foi feita a reamostragem dos *pixels* das imagens correspondentes as bandas do SWIR (11 e 12) para 10m, permitindo sua utilização em composições RGB e álgebra entre bandas.

Posteriormente, o *software* ER-Mapper® 7.0 foi utilizado para, a partir das imagens pré-processadas, gerar três composições coloridas RGB iniciais: ‘R4-G3-B2’; ‘R12-G11-B8’; e ‘R2-G8-B12’. Tais produtos foram convertidos para o sistema IHS e a banda *Hue* de cada triplete original foi realocada em uma nova composição colorida denominada de HRGBI, onde o ‘H’ corresponde à banda *Hue* de cada triplete IHS e o ‘I’ representa o canal *Intensity*, no qual foram aplicadas técnicas de filtragem e realce para destacar os alvos de interesse.

A literatura propõe, utilizando imagens Landsat 8-OLI, o uso da banda pancromática em conjunto com a aplicação de filtros de realce no canal *Intensity*, obtendo um ganho na resolução espacial e melhor definição dos alvos de interesse [8]. Como as imagens Sentinel-2 não possuem uma banda pancromática, a banda I da imagem RGB ‘R4-G3-B2’ convertida para o modo IHS foi utilizada como alternativa devido a maior resolução espacial de suas bandas originais.

No canal *Intensity* foram aplicadas técnicas de filtragem linear – do tipo direcional – para realce de alvos de interesse como as barras arenosas e os canais de maré, e de filtragem não-linear – do tipo Laplaciano – para destaque das bordas das feições da área de estudo, auxiliando na delimitação dos seus limites. Também foi alocada uma imagem que foi gerada a partir do *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI). Esta nova composição HRGBI possibilitou uma melhor caracterização das feições submersas presentes na planície de maré da área em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro produto gerado foi combinação das bandas do visível, através da composição R4-G3-B2 (Figura 3), e que teve como objetivo inicial identificar feições superficiais continentais e marinhas com as cores mais próximas da realidade. Dunas e solo exposto foram evidenciados em tonalidades claras devido à baixa absorção da radiação eletromagnética de suas superfícies no espectro óptico.

O segundo produto gerado foi uma composição R12-G11-B8 (Figura 4), na qual foram utilizadas apenas bandas correspondentes ao intervalo do infravermelho (SWIR e NIR). Depósitos praias foram realçados em tons claros devido a alta reflectância de sedimentos quartzosos no espectro infravermelho. Áreas úmidas foram destacadas em azul escuro devido a banda 8 (NIR) se encontrar no canal do azul, e estão relacionadas aos manguezais e aos depósitos de

supramaré. Esta banda apresenta baixa reflectância para água do mar, tanques evaporadores das salinas e tanques de carcinicultura. Destacam-se ainda os sedimentos em suspensão transportados e bancos areno-lamosos submersos ao longo da costa pelo contraste entre a maior reflectância dos sedimentos e alta absorção dos corpos d'água.



Figura 3. Composição R4-G3-B2 (cor real).

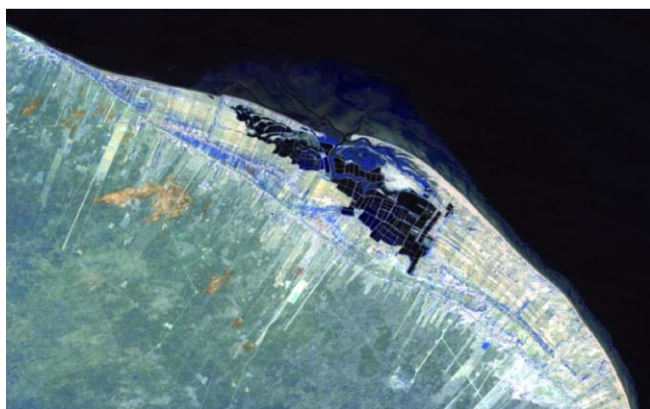


Figura 4. Composição R12-G11-B8 (falsa cor).

Um terceiro triplete RGB, de composição R2-G8-B12 (Figura 5), teve com intenção combinar bandas de diferentes porções do espectro eletromagnético óptico (VIS, NIR e SWIR). Este produto realçou as áreas lamosas em cor verde vibrante devido à banda 8 (NIR) se encontrar no canal verde. Os depósitos praias, bem como os campos de dunas e solo exposto, foram evidenciados em cores claras (com muito brilho) em virtude da baixa absorção em todos os canais, principalmente na porção leste da imagem.

Cada triplete foi convertido individualmente para o sistema IHS, onde o Hue (H), ou matiz, definiu a cor espectral dominante de cada composição. Sua utilização em cada composição RGB resultou em tonalidades de cores mais vibrantes. O Hue 2-8-12, no canal do vermelho, realçou as barras arenosas, os depósitos eólicos e as feições de solo exposto. Já o Hue 12-11-8, no canal do verde, ressaltou as áreas lamosas em tonalidades verdes. O Hue 4-3-2, no canal do azul, distribuiu a composição do espectro eletromagnético visível com uma escala azul variando de claro a escuro. O

emprego da banda *Intensity* 4-3-2 no canal *Intensity* gerou um melhor contraste para as morfologias costeiras. Além disso, a aplicação de um filtro não-linear do tipo Laplaciano de dimensão 5x5 no canal do *Intensity* (I) na banda *Intensity* do triplete 4-3-2 fez o realce das bordas das feições costeiras continentais e submersas. A partir da combinação destes 4 produtos, foi criada a composição híbrida R(Hue 2-8-12) – G(Hue 12-11-8) – B(Hue 4-3-2) – I(Intensity 4-3-2), cujos canais receberam realces em seus respectivos histogramas (Figura 6).

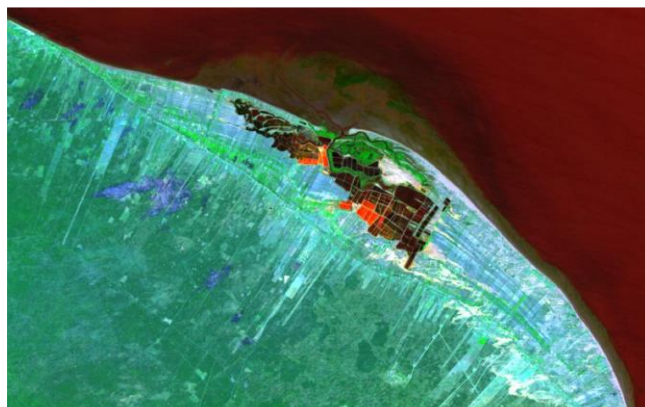


Figura 5. Composição R2-G8-B12 (falsa cor).

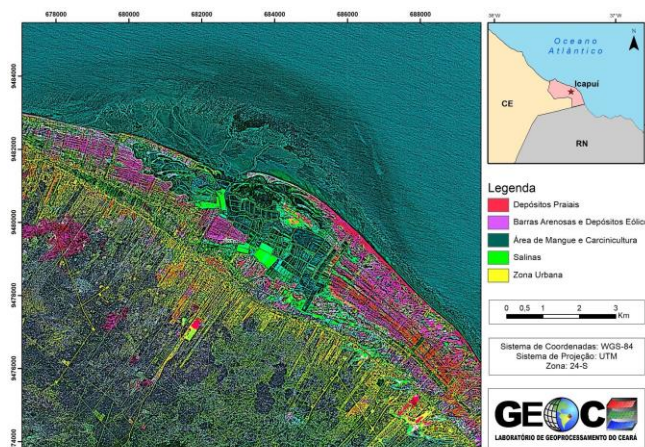


Figura 6. Composição HRGBI R(Hue 2-8-12) – G(Hue 12-11-8) – B(Hue 4-3-2) – I(Intensity 4-3-2) com a aplicação do filtro Laplaciano 5x5 no canal *Intensity*.

A composição híbrida HRGBI foi útil na caracterização preliminar das feições geomorfológicas da planície costeira de Icapuí (CE), com foco na sua porção mais proximal aos canais de maré existentes, oferecendo uma diferenciação das feições superficiais como um todo, pois nela podem ser identificados os sedimentos praias (em vermelho), as áreas que apresentam os cordões litorâneos (em rosa), a região lagunar (zona de manguezal e salinas) em verde claro a escuro e a zona urbana em amarelo.

Um segundo produto também foi gerado a partir de uma composição híbrida HRGBI, usando uma combinação de três

tripletes IHS semelhante à anterior, mas utilizando o índice MNDWI no canal *Intensity*, destacando canais de maré que não foram tão realçados em outras composições. Apesar da perda espectral na porção continental, houve um ganho considerável no destaque das feições submersas. Após a geração da composição híbrida, o canal *Intensity* também recebeu uma filtragem do tipo Laplaciano 5x5 (Figura 7).



Figura 7. Composição HRGBI R(2-8A-12) – G(12-11-8A) – B(4-3-2) – I(MNDWI).

Esta imagem foi usada para a caracterização das feições submersas na zona do banco de algas defronte à zona costeira do município, visto que ela destaca muito bem os canais de maré existentes na região. Percebe-se que os canais têm direções preferenciais a NW-SE e NE-SW. Além disso, algumas estruturas perpendiculares entre canais podem sugerir um transporte secundário entre canais. Embora as direções preferenciais dos canais estejam concordantes com o arranjo estrutural da porção setentrional do nordeste brasileiro, não necessariamente esta disposição ocorre por influência neotectônica, sendo necessários estudos mais aprofundados neste sentido, além de uma caracterização hidrodinâmica mais aprofundada.

4. CONCLUSÕES

A aplicação das técnicas de processamento digital de imagens implementadas neste trabalho mostrou que, mesmo em áreas onde a resposta espectral dos alvos de interesse seja um fator que dificulte sua caracterização, o uso integrado de técnicas de realce e filtragem em composições híbridas HRGBI, além da utilização índices como o MNDWI, podem representar um recurso que facilite o estudo de áreas costeiras onde a resposta de produtos orbitais multiespectrais gratuitos não é suficiente para a diferenciação das suas feições geomorfológicas.

As imagens Sentinel-2, por possuírem uma maior resolução espacial em relação à série Landsat, foram eficientes em destacar as feições geomorfológicas costeiras observadas na área de estudo. As técnicas de realce, filtragem e matemática de bandas empregadas nessas imagens

possibilitaram o destaque de canais de submersos na região de planície de maré. A disposição dos canais de maré acompanhando a tendência das estruturas regionais nas direções NW-SE e NE-SW poderia ser um indício da influência neotectônica local.

A observação da composição híbrida final possibilitou visualizar indícios da existência de diversas gerações de cordões litorâneos na porção leste da área em estudo, sendo truncados nas proximidades da região que hoje abriga os tanques de carcinicultura de Icapuí. Já a porção leste também apresenta uma assinatura correspondente aos cordões litorâneos, porém eles aparecem mais indistintos. A melhor caracterização destas feições, possibilitada pelo incremento em resolução espacial das imagens Sentinel-2, pode proporcionar uma compreensão mais aprofundada sobre os eventos holocênicos que têm moldado o litoral da área de estudo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Jensen, J.R., Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, 2ª ed, Parêntese Editora, São José dos Campos, Brasil, 2009.
- [2] Meireles, A.J.A. e Santos, A.M.F. Atlas de Icapuí, Editora Fundação Brasil Cidadão, Fortaleza, Brasil, 2012.
- [3] Oliveira, M.M.N., Aspectos morfológicos e sedimentares associados à dinâmica do Litoral Oeste de Icapuí, Ceará, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 188 p., 2012.
- [4] Souto, M.V.S.; Castro, A.F.; Grigio, A.M.; Amaro, V.E. e Vital, H., Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, city of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS, *Journal of Coastal Research*, pp. 1618-1621, 2006.
- [5] Souto, M.V.S., Análise da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 177 p., 2009.
- [6] Santos, M.S.T. e Amaro, V.E., Dinâmica sazonal de processos costeiros e estuarinos em sistema de praias arenosas e ilhas barreira no Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 14 (2), 2014.
- [7] Maia, A.O., Reconstrução ambiental e evolução sedimentar da região costeira de Icapuí/CE por meio de processamento digital de imagens e análise de fácies, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 103 p., 2017.
- [8] Rios, V.P.L.; Amaro, V.E.; Vieira, M.M.; Matos, M.F.A.; Prudêncio, M.C. e Camara, M.R. Influência neotectônica na morfologia do sistema de ilhas barreiras, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, n. 3, 2016.