

## Mapeamento geomorfológico da zona costeira sul de Sergipe, nordeste do Brasil

Laísa Peixoto RAMOS, Ana Cláudia da Silva ANDRADE, Paulo Sérgio de Rezende NASCIMENTO & João Paulo da Silva SANTOS

Programa de Pós-graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, CEP 49.100-000, São Cristóvão, SE, Brasil (laisapeixoto@gmail.com, acsaa@academico.ufs.br, paulonascimento@academico.ufs.br, jpaulo.ssantos@outlook.com).

**Resumo.** Este estudo apresenta um mapa geomorfológico da zona costeira sul do Estado de Sergipe, nordeste do Brasil, na escala 1:100.000, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Para destacar as diferenças na morfologia do relevo, foram realizados o processamento digital de imagens (PDI) nas imagens do satélite *Operational Land Imager* (OLI)-Landsat 8 e o modelo digital de terreno (MDT) com dados topográficos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). O mapa gerado usou a proposta metodológica de taxonomia do relevo, sendo identificadas duas unidades geomorfológicas limitadas por falésias inativas: tabuleiros costeiros e planície costeira. A planície costeira foi dividida em sete subunidades: terraços marinhos internos, paleodunas, planícies fluviomarinhas/lagoas, terraços marinhos externos, planícies de maré/manguezais, dunas atuais/interdunas e praias. As unidades/subunidades apresentaram uma resposta distinta, principalmente em relação à cor e ao relevo (textura). Com o PDI foi possível estabelecer as diferenças entre: tipos de vegetação; substrato arenoso exposto devido ao comportamento espectral das areias quartzosas; "água limpa" e "água com sedimento em suspensão"; alinhamentos e truncamentos dos cordões litorâneos; entre outros. O MDT sintetizou os indicadores que destacam as diferenças topográficas das unidades/subunidades, como tabuleiros costeiros, paleodunas e dunas atuais. Este trabalho ressaltou a importância do sensoriamento remoto para o aprimoramento do mapeamento geomorfológico de zonas costeiras.

**Palavras-chave.** sensoriamento remoto, unidades geomorfológicas, modelo digital de terreno.

**Abstract.** GEOMORPHOLOGICAL MAPPING OF THE SOUTHERN COASTAL ZONE OF SERGIPE, NORTHEAST OF BRAZIL. This study presents a geomorphological map of the southern coastal zone of Sergipe State, northeastern Brazil, on a 1: 100,000 scale, using remote sensing techniques. In order to highlight the differences in the relief morphology, digital image processing (DIP) on the Operational Land Imager (OLI)-Landsat 8 satellite images and the digital terrain model (DTM) on topographic data SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) were done. The generated map used the methodological proposal of relief taxonomy, being identified two geomorphological units limited by inactive cliffs: coastal tablelands and coastal plain. The coastal plain was divided into seven subunits: internal marine terraces, paleodunes, fluviomarine plains/lagoons, external marine terraces, tidal flats/mangroves, current dunes/interdunes and beaches. The units/subunits presented a different response, mainly in relation to color and relief (texture). Thus, with the DIP it was possible to establish the differences between: types of vegetation; sandy substrate exposed due to the spectral behavior of quartz sands; "clean water" and "water with suspended sediment"; beach-ridge alignments and truncations. The DTM highlighted the units/subunits with topographic differences, such as coastal tablelands, paleodunes and current dunes. This work pointed the importance of remote sensing for improving the geomorphological mapping of coastal areas.

**Keywords.** remote sensing, geomorphological units, digital terrain model.

## 1 Introdução

A zona costeira pode ser definida como o espaço de interação entre o oceano, o continente e a atmosfera, abrangendo seus ambientes e ecossistemas (Freitas, 2011). Neste contexto, os ambientes da zona costeira brasileira, em especial no Nordeste, evoluíram durante o Quaternário em resposta às mudanças não somente climáticas e/ou do nível do mar, mas também tectônicas. Estudos recentes de impacto expressivo mostraram os efeitos da instabilidade tectônica, do Plioceno até os dias atuais, na evolução e na configuração da zona costeira do nordeste do Brasil (King, 1956; Martin *et al.*, 1980; Lima, 2010; Sousa *et al.*, 2014).

Dominguez (2006) dividiu a zona costeira brasileira em cinco tipologias: costa arenosa dominada por ondas, costa rochosa, costa deltaica dominada por ondas, costa faminta e costa deltaica dominada por marés. A costa de Sergipe está inserida na tipologia costa deltaica dominada por ondas, a qual é caracterizada por planícies costeiras amplas, que evidenciam condições favoráveis à acumulação de sedimentos durante o Quaternário. De acordo com Dominguez (2006), as principais fontes de sedimentos foram decorrentes do rio São Francisco, da deriva litorânea de NE para SW e do fundo marinho, principalmente durante as regressões marinhas (inverso da regra de Brunn, 1962).

As unidades geológico-geomorfológicas foram formadas, podendo ser citados os depósitos de mangues, depósitos eólicos, depósitos fluviolagunares, leques aluviais coalescentes e terraços marinhos (Bittencourt *et al.*, 1983). Os terraços marinhos ocupam grande percentual em área da planície costeira de Sergipe. Na superfície destes terraços marinhos estão presentes cordões litorâneos, que podem ser definidos como cristas remanescentes da linha de costa, paralelas a aproximadamente paralelas entre si, de origem marinha ou eólica (Otvos, 2000; Tamura, 2012).

Os cordões litorâneos servem como indicadores do nível do mar pretérito e das antigas posições da linha de costa (Otvos, 2000; Scheffers *et al.*, 2011). Diversos processos e a história

evolutiva da zona costeira ficaram registrados durante a formação destas feições, a exemplo de truncamentos dos cordões litorâneos que evidenciam erosão pretérita. Estes truncamentos podem ser causados por diversos fatores, como oscilações no nível do mar, inversão no sentido da deriva litorânea de sedimentos, entre outros (Otvos, 2000; Brückner & Schellmann, 2003, Dominguez *et al.*, 2009; Scheffers *et al.*, 2011).

A zona costeira, historicamente, atrai pessoas e atividades antrópicas devido à sua beleza cênica, aos recursos naturais disponíveis e aos ecossistemas com sua grande biodiversidade. Como resultado, tem sido amplamente ocupada, e segundo IPCC (2018), 2/3 da população mundial reside a menos de 50 km da linha de costa. Como consequência da ocupação humana, informações relevantes sobre a planície costeira e feições geomorfológicas, como dunas e manguezais, estão sendo perdidas (Boori, 2010; Oliveira & Andrade, 2012; 2013; 2015; Santos & Andrade, 2013).

O mapa geomorfológico representa um instrumento de análise e síntese. Pode ser entendido como um registro não só das unidades geomorfológicas que compõem uma determinada região, como também uma fonte de informações que auxilia no entendimento dos processos, da geocronologia relativa, dos recursos naturais, dos perigos naturais e da evolução das formas de relevo (Blaszczynski, 1997; Bispo *et al.*, 2012). Adicionalmente, a compartimentação do relevo em diferentes táxons (taxonomia do relevo) visa hierarquizar os fatos geomorfológicos de acordo com uma classificação temporal e espacial (IBGE, 2009).

O sensoriamento remoto se constitui numa ferramenta eficaz para a análise espacial e temporal dos aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, uso do solo e cobertura vegetal a partir da interpretação visual e/ou automática de imagens de satélite (Meneses & Almeida, 2012). Alguns trabalhos mostram a importância da aplicação do sensoriamento remoto no mapeamento geomorfológico (Rao, 2002) e em estudos geológicos e geomorfológicos de zonas costeiras (Souza Filho & El-Robrini, 2000; Souza Filho *et al.*, 2005; Tabosa *et al.*, 2007; Vital *et al.*, 2010; Polizer & Rossetti, 2014; Albino

*et al.*, 2020; Silva & Lima, 2020).

Souza Filho & El-Robrini (2000) realizaram o mapeamento geomorfológico da zona costeira de Bragança (Pará) utilizando Imagens TM Landsat 5, com a identificação de diferentes unidades a partir das assinaturas espectrais do terreno associadas às características geométricas e texturais dos modelados costeiros. No trabalho de Polizel & Rossetti (2014), a composição colorida R4/G7/B2 das imagens TM Landsat 5 foram utilizadas para a delimitação dos cordões litorâneos e terras úmidas.

As partes emersa e submersa dos ambientes tropicais úmidos estão sujeitas ao prolongado período de cobertura de nuvens, marés astronômicas, marés meteorológicas, etc. Em função disto, Souza Filho *et al.* (2005) destacaram a importância do uso de diferentes técnicas e aplicações do sensoriamento remoto, como os modelos digitais de elevação (MDE), imagens de radar de aberturas sintéticas (SAR), entre outras, na investigação geomorfológica destes ambientes.

Tabosa *et al.* (2007) destacaram o uso do processamento digital de imagens (PDI) e do cálculo estatístico das imagens no mapeamento de feições morfológicas de ambientes costeiros e marinhos da região de São Bento do Norte (RN). Para a zona costeira emersa, ressaltaram que a composição colorida R5/G2/B1 do sistema Landsat 7-ETM+ permitiu a identificação das unidades geoambientais com base na geomorfologia, uso do solo e cobertura vegetal (manguezais, solos expostos, culturas, etc.). O conteúdo de umidade do solo, a composição orgânica dos solos, os sedimentos areno-quartzosos, os corpos d'água (lagunas) entre outros, favorecem a interpretação das feições geomorfológicas de zonas costeiras inconsolidadas na composição R5/G2/B1.

O trabalho de Vital *et al.* (2010) fez uso dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e de imagens de satélite para entender as variações do nível do mar no estuário do rio Apodi-Mossoró, nordeste do Brasil. O mapeamento de terraços de abrasão emerso e submerso presentes da linha de costa até a isóbata de 10 m, no litoral do Espírito Santo, foi realizado por Albino *et al.* (2020). Este trabalho enfatizou o

uso crescente das técnicas de sensoriamento remoto em estudos de zonas costeiras, além de permitir a integração com dados batimétricos da porção submersa, mostrando a representação dos terraços em 3D. Outros trabalhos utilizaram sensoriamento remoto em estudos de zonas costeiras, sem, no entanto, dar ênfase a essa técnica (Santos, 2015; Silva & Lima, 2020). Dessa forma, o uso do sensoriamento remoto tem se destacado como uma ferramenta muito útil no mapeamento geomorfológico de zonas costeiras.

Alguns trabalhos apresentaram um mapa da geomorfologia (morfologia do terreno) e da geologia (substrato) da zona costeira de Sergipe, dentre os quais destaca-se Bittencourt *et al.* (1983). O mapa foi utilizado para a reconstrução quaternária da planície costeira de Sergipe. Sendo assim, o artigo não descreveu as bases utilizadas, nem indicou a escala e a metodologia adotadas no mapeamento. Entretanto, no Brasil, os mapas das décadas de 70 e 80 eram confeccionados a partir da interpretação de fotografias aéreas pancromáticas e utilizavam como base cartas topográficas. Adicionalmente, pelo grau de detalhamento do mapa (fig. 2, p. 94, Bittencourt *et al.*, 1983) e pelos trabalhos realizados pela mesma equipe no litoral da Bahia na década 80 (Martin *et al.*, 1980), acredita-se que o mapa tenha sido confeccionado na escala de 1:250.000.

Esses mapas continuam sendo de extrema importância, porém com o avanço das geotecnologias é possível realizar mapeamentos com maior precisão e em menor tempo. Com isso, os objetivos deste trabalho foram refinar o mapeamento geomorfológico já existente e produzir um novo mapa geomorfológico da zona costeira sul do Estado de Sergipe, nordeste do Brasil, na escala de 1:100.000, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. A integração e o teste das novas bases, antes inexistentes, e a avaliação de novos sensores permitem o aperfeiçoamento da espacialização geomorfológica. Além disso, a escala de maior detalhe possibilita o detalhamento, com a identificação de novas unidades/subunidades, que podem não ter sido visualizadas nos mapeamentos pretéritos.

## 2 Área de estudo, materiais e métodos

### 2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada na zona costeira dos municípios de Itaporanga d'Ajuda e Estância, localizados entre as desembocaduras dos rios Vaza-Barris e Piauí-Real, sul do Estado de Sergipe. Possui uma extensão de linha de costa de aproximadamente 50 km e largura de aproximadamente 10 km e engloba, de norte a sul, as praias da Caueira, do Abaís e do Saco (Fig. 1).

O acesso ao litoral sul de Sergipe, a partir de 2006, foi facilitado pela construção da ponte Joel Silveira, sobre o rio Vaza-Barris, que liga os municípios de Aracaju a Itaporanga d'Ajuda e da ponte Gilberto Amado, sobre os rios Piauí-Real, ligando Estância a Indiaroba. Com estes novos acessos, foi verificado nas imagens de satélite multitemporais disponíveis no *Google Earth Pro*, a expansão da ocupação humana.

### 2.2 Caracterização regional

A geologia-geomorfologia da zona costeira do sul de Sergipe é representada por depósitos sedimentares do Paleógeno-Neógeno e Quaternário tais como tabuleiros costeiros e planícies costeiras. Nas planícies costeiras são encontrados os terraços marinhos do Pleistoceno e do Holoceno, leques aluviais do Pleistoceno, três gerações de dunas do Pleistoceno e do Holoceno, depósitos lagunares e depósitos de mangues, de acordo com Bittencourt *et al.* (1983). Este trabalho permitiu alcançar uma razoável compreensão sobre a evolução da zona costeira, cujos principais fatores influenciadores foram as variações do nível relativo do mar e as mudanças climáticas.

A história da variação do nível do mar mostrou seis episódios durante o Quaternário, sendo três de transgressão (anterior a 120.000 anos A.P., 120.000 anos A.P. e 5.100 anos A.P.) e três de regressão marinha subsequentes a estas

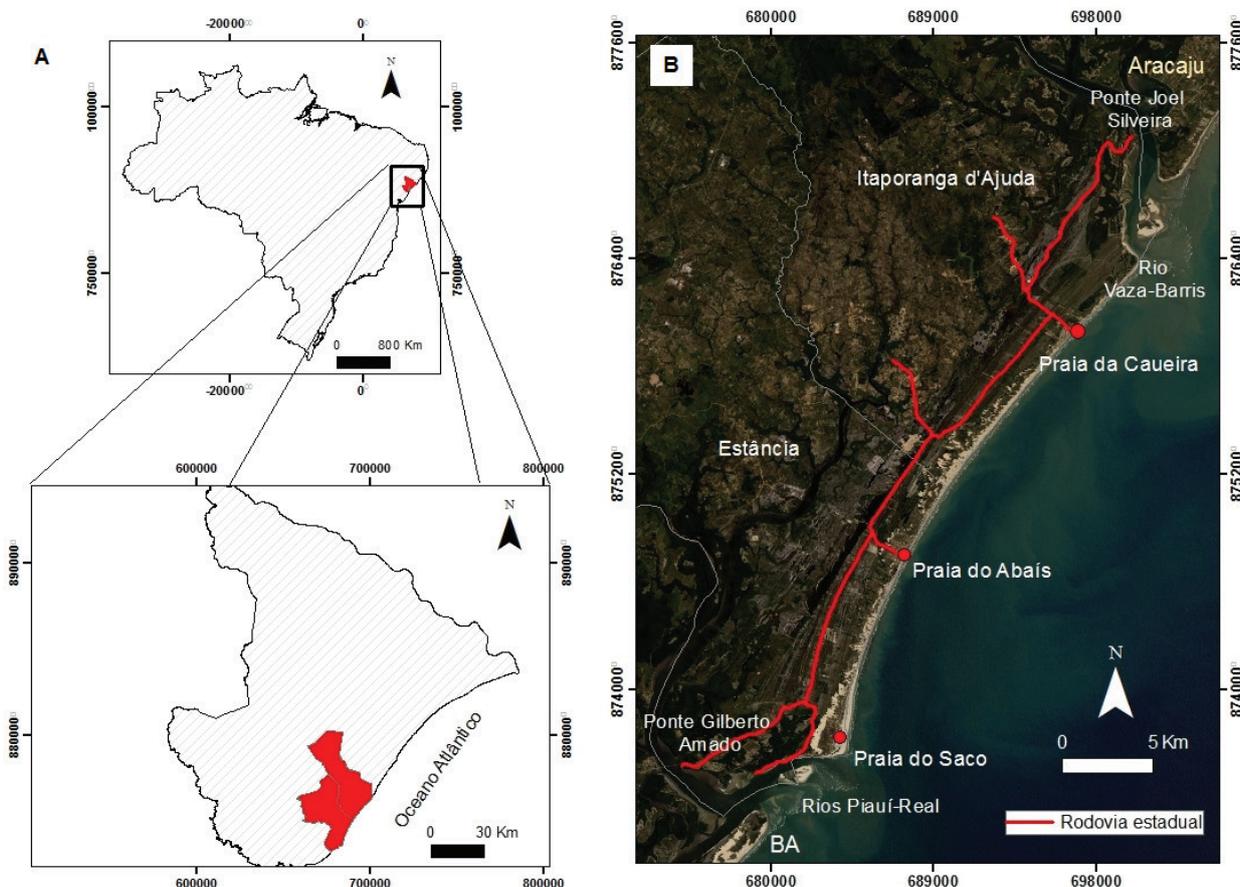


Figura 1. Localização da área de estudo. A) No Brasil e em Sergipe; B) Localização da área de mapeamento. Fonte da imagem: OLI-Landsat 8, em composição colorida R4G3B2, de 13 de setembro de 2016.

Figure 1. Location of the study area. A) In Brazil and in Sergipe; B) Location of mapping area. Image source: OLI-Landsat 8 in colorful composition R4G3B2, date: September 13, 2016.

transgressões marinhas, que moldaram a planície costeira (Bittencourt *et al.*, 1983; Martin *et al.*, 2003). Em situação de elevação do nível do mar, os depósitos preexistentes foram parcialmente ou totalmente erodidos, retrabalhados e inundados. Durante os eventos de abaixamento do nível do mar, a planície costeira de Sergipe mostrou comportamento predominantemente de progradação, apesar de haver registros de erosão, como evidenciado pelos truncamentos dos cordões litorâneos.

O clima da região é tropical úmido, com temperatura média variando entre 24°C e 27°C e precipitação média de 115 mm/mês (ECMWF, 2019). Os principais fatores climáticos englobam os ventos alísios e a zona de convergência intertropical (ZCIT). A interação destes dois fatores faz com que os ventos soprem de leste durante a primavera e o verão e, de sudeste durante o outono e o inverno (Dominguez *et al.*, 2016).

As ondas mais frequentes são provenientes de leste (E), sudeste (SE) e sul (S). As ondas de E predominam na primavera, no verão e no outono. No outono ocorrem, ainda, ondas de S e SE. No inverno, as ondas mais frequentes são de SE, seguidas das ondas de E (Pianca *et al.*, 2010). O sentido preferencial da deriva litorânea é de NE-SW (Oliveira, 2003). As marés são semi-diurnas, meso-marés, com alturas máximas de cerca de 2 m (CPSE, 2019). As praias variam de dissipativas a intermediárias-dissipativas (Oliveira, 2003; Dominguez *et al.*, 2016).

## 2.3 Materiais e métodos

Para a realização deste trabalho foram utilizadas as seguintes abordagens: (i) processamento digital de imagens óticas; (ii) modelo digital de terreno; (iii) trabalho de campo e análise granulométrica/estatística dos sedimentos e; (iv) confecção do mapa geomorfológico.

### 2.3.1 Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens (PDI) foi realizado nas imagens ortorretificadas do *Operational Terra Imager* (OLI)-Landsat 8,

datada de 13 de setembro de 2016 e disponíveis gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey - USGS*). De acordo com o arquivo de metadados das imagens utilizadas, o erro médio quadrático (*root mean square error*) do georreferenciamento foi de 9,625 m, coerente com a resolução espacial da imagem, mostrando a acurácia do procedimento (Melo & Pacheco, 2004). O erro de posicionamento das antigas séries Landsat era da ordem de 60 a 80 metros e com a inovação dos sensores foi melhorando gradualmente, sendo atualmente em torno de 12 m para o sensor OLI (NASA, 2013). O *Datum* original da imagem era WGS84, e foi convertido no ArcGIS para o SIRGAS 2000.

Os programas de geoprocessamento utilizados para realizar o PDI de imagens óticas foram: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING - Versão 5.5.6; Câmara *et al.*, 1996), disponibilizado pelo INPE, e o ArcGis 10.2.1. As técnicas de PDI utilizadas nesse trabalho foram: composição colorida, realce de contraste linear e componentes principais (CP). Os elementos que foram levados em consideração nestas técnicas para a interpretação de uma imagem de satélite incluíram principalmente a cor, a textura e as formas de relevo (Soares & Fiori, 1976; Meneses & Almeida, 2012).

A primeira técnica utilizada foi a composição colorida, pois uma imagem colorida é mais sensível ao olho humano do que as monocromáticas, principalmente nas composições *red* e *green* (Novo, 1988). Dessa forma, é importante que o usuário entenda o comportamento espectral dos alvos terrestres para realizar as melhores composições coloridas de acordo com os seus objetivos. No caso desse trabalho foram realizadas a identificação e a extração manual (fotointerpretação) das formas de relevo. Na composição colorida, as bandas monocromáticas foram ordenadas no sistema RGB (*red-green-blue*), formando uma composição colorida verdadeira cor (R4/G3/B2) e composições falsa-cor (R7/G5/B3; R6/G5/B2; R7/G6/B5; R5G6B4), empregando as bandas do visível, infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR).

Identificados os elementos relevo, tais como textura, tonalidade e vegetação específica, os contatos que delimitam as unidades/subunidades foram traçados visualmente e as zonas homólogas definidas, conforme proposto por Guy (1966 *apud* Arcanjo, 2011).

A segunda técnica utilizada foi o realce de contraste linear pela ampliação histogrâmica. Consiste no reescalamento dos níveis de cinza dentro do intervalo de quantização da imagem, visando melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano para o reconhecimento de padrões, como as formas de relevo. Foi aplicado o aumento linear de contraste por uma transformação unidimensional, cuja função de transferência é uma reta, e a inclinação controla a quantidade de aumento do contraste até atingir o realce desejado. Para isso, foram empregados dois parâmetros: a inclinação da reta, que controla a quantidade de aumento de contraste e o ponto de interseção com o eixo X, que controla a intensidade média do produto (Nascimento & Garcia, 2004; Nascimento, 2017a). O objetivo da aplicação desta técnica foi melhorar a qualidade das cores destacadas na composição colorida, com a finalidade de deixar o mapeamento mais preciso, já que os limites entre as unidades ficam mais bem visualizados e delimitados.

A terceira técnica de PDI empregada foi a dos componentes principais (CP), que consiste em uma técnica estatística multivariada, que transforma um conjunto de dados (ou variáveis) originais em outro conjunto de mesmo tamanho. As diversas bandas individuais, em uma imagem multiespectral, são bastante similares e correlacionadas visual e numericamente. A análise destas bandas individuais pode ser ineficiente devido ao excesso de informações de cada banda. A transformação por componentes principais visa a remoção de informações redundantes e a concentração de informações topográficas na primeira principal componente  $CP_1$ , melhorando a visualização de estruturas lineares e curvilíneas de relevo e drenagem (Meneses & Almeida, 2012; Hongyu *et al.*, 2015). Em geologia, a  $CP_1$  foi utilizada

para a visualização e extração de lineações e lineamentos estruturais (Nascimento, 2017b). Como as maiores informações se concentram nas três primeiras componentes principais, realizou-se a composição colorida  $CP_1R/CP_2G/CP_3B$ . Os componentes principais, neste trabalho, auxiliaram principalmente na delimitação dos cordões litorâneos, que são feições lineares.

### 2.3.2 Modelo digital do terreno (MDT)

O modelo digital de terreno foi elaborado com o uso de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) que são dados altimétricos (topográficos). Os dados SRTM, disponíveis gratuitamente pelo USGS, apresentam resolução horizontal de 30 m e foram adquiridos em fevereiro de 2000 (Farr & Kobrick, 2000; Jensen *et al.*, 2007).

A partir dos dados SRTM, foram extraídas curvas de nível de 3 em 3 m para a confecção do MDT no programa ArcGIS 10.2.1. Os dados SRTM apresentam resolução vertical de 1 m (Valeriano, 2008; Braz *et al.*, 2018) e o MDT, acurácia vertical entre 4 e 6 m (Sander *et al.*, 2015; Rabus *et al.*, 2003). Sander *et al.* (2015) realizaram um estudo topográfico com cordões litorâneos na zona costeira da Patagônia, na costa da Argentina, comparando o resultado obtido por diferentes equipamentos de medidas altimétricas. Esses autores concluíram que os dados SRTM, apesar da acurácia vertical relativamente baixa, podem ser utilizados para estudos topográficos de zonas costeiras de baixa elevação e com pequeno desnível topográfico. Dessa forma, quando outros equipamentos que medem topografia de terrenos não estiverem disponíveis, estes dados podem ser utilizados.

O MDT foi utilizado para auxiliar na delimitação das unidades/subunidades devido à diferença de altitude. Uma paleta de cores com 14 classes, variando de 0 a 87 m, foi feita no MDT: 13 classes, de 3 em 3 m, nos terrenos menos acentuados e, uma classe, de 39 m a 87 m, nos terrenos mais acentuados. Sobre o MDT foram traçados três perfis topográficos com orientação NW-SE e perpendiculares à linha de costa atual.

### 2.3.3 Trabalho de campo e análise granulométrica/estatística de sedimentos

As saídas de campo ocorreram em setembro de 2018 e tiveram como objetivo checar e confirmar o mapa geomorfológico preliminar, além de coletar 53 amostras de sedimentos (Fig. 2, quadro 1) e de obter um registro fotográfico das unidades em campo. A checagem consistiu na confirmação em campo de unidades de difícil identificação e/ou delimitação na etapa de interpretação visual das imagens de satélite e do

MDT.

A análise granulométrica dos sedimentos foi feita de duas formas. A fração areia foi analisada por peneiramento a seco no agitador de peneiras do tipo *rotap*, segundo metodologia padrão descrita por Muehe (2002). A fração lama foi realizada no analisador de partículas a laser. O programa Sistema de Análise Granulométrica – Sysgram (Camargo, 2006) foi utilizado na obtenção dos parâmetros estatísticos tamanho médio e desvio padrão, de acordo com formulação de Folk & Ward (1957).

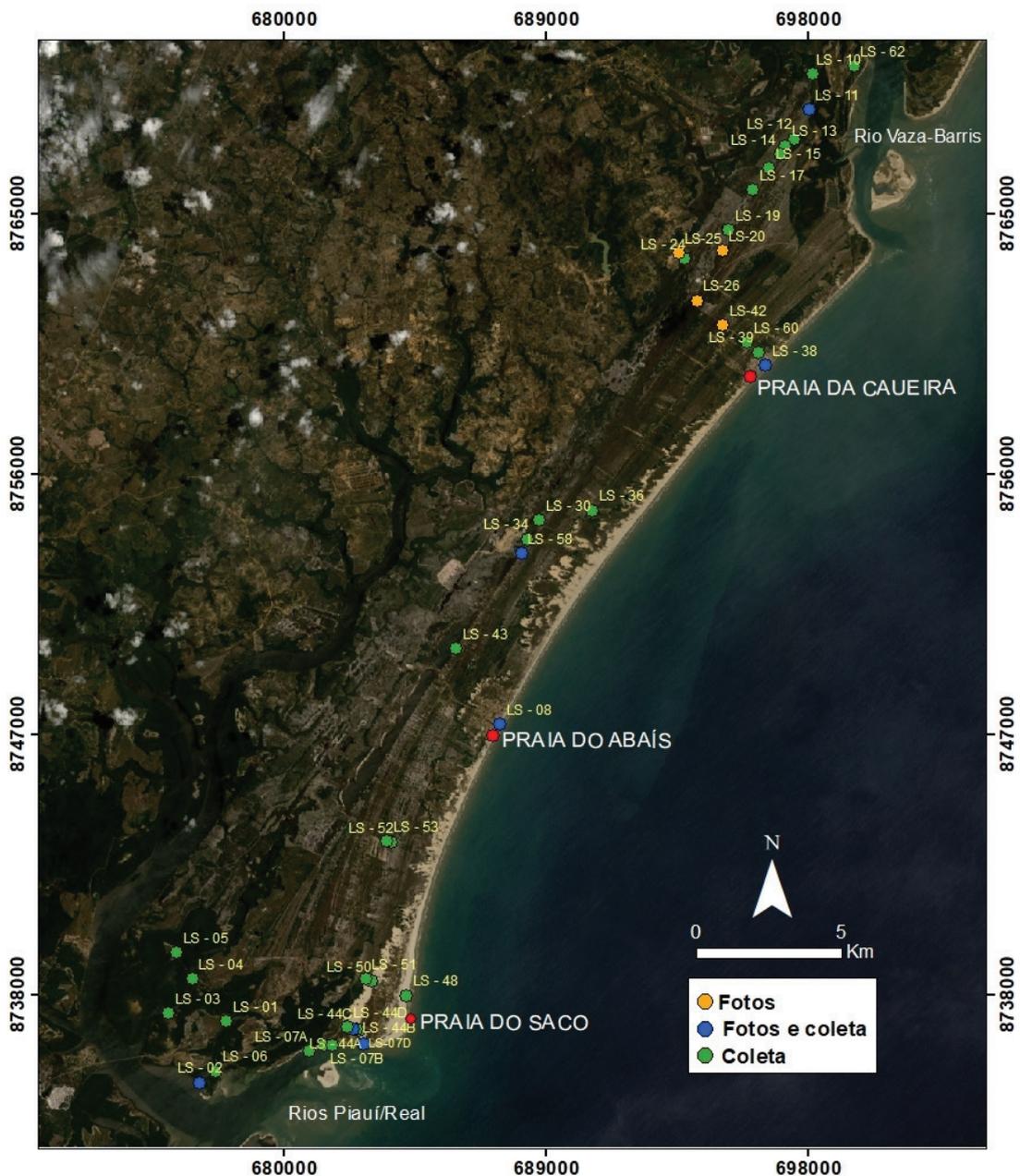


Figura 2. Localização dos pontos de coleta de amostras de sedimentos e do registro fotográfico na zona costeira do sul de Sergipe.

Figure 2. Location of sediment sample collection points and photographic record in the coastal area of southern Sergipe.

Quadro 1. Síntese dos dados estatísticos (tamanho e seleção) das amostras de sedimentos coletadas na zona costeira do sul de Sergipe.

Chart 1. Synthesis of statistical data (size and selection) of sediment samples collected in the coastal zone of southern Sergipe.

Subunidades	Tamanho do grão	Selecionamento	Amostras de sedimentos
Terraços marinhos internos	Areia fina - média	Pobre - moderado	LS-15, LS-17, LS-19, LS-30A, LS-30B
Paleodunas	Areia fina	Pobre - moderado	LS-10, LS-11, LS-13, LS-14, LS-34A, LS-34B
Planícies fluviomarinhas	Silte grosso - Areia fina	Muito pobre – moderado	LS-24, LS-43, LS-58A, LS-58B
Terraços marinhos externos	Areia muito fina - fina	Moderado	LS-39, LS-60, LS-50, LS-52
Dunas atuais / Interdunas	Areia muito fina - fina	Moderado	LS-36, LS-44A, LS-44B, LS-44C, LS-44D, LS-48B, LS-48C, LS-51, LS-53
Planícies de maré / manguezais	Silte médio - areia fina	Pobre - moderado	LS01A, LS-01B, LS-02A, LS-02B, LS-02C, LS-03A, LS-03B, LS-04A, LS-04B, LS-04C, LS-05A, LS-05B, LS-05C, LS-05D, LS-06A, LS-06B, LS-62A, LS-62B
Praias	Areia fina	Moderado	LS-07A, LS-07B, LS-07C, LS-07D, LS-08, LS-38, LS-48A

### 2.3.4 Confecção do mapa geomorfológico

A interpretação visual das imagens de satélite e do MDT possibilitou a individualização e o mapeamento das unidades geomorfológicas com escala fixada em 1:100.000, no ArcGIS 10.2.1. O mapeamento realizado neste trabalho está de acordo com Valeriano (2008), que afirmou que os dados SRTM foram planejados para mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000. Os dados obtidos no trabalho de campo e o resultado da análise estatística dos sedimentos serviram para complementar as informações do mapa. O mapa geomorfológico gerado foi baseado na taxonomia do relevo utilizada pelo IBGE (2009, p. 29). O terceiro nível taxonômico corresponde às unidades geomorfológicas. O quarto nível é equivalente ao modelado (de acumulação), que nesse trabalho foi denominado de subunidades.

### 3 Resultados e discussão

A partir da análise e integração dos dados obtidos pelas técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e do modelo digital de relevo (MDT) foi possível refinar, redefinir e renomear as unidades geomorfológicas descritas por Bittencourt *et al.* (1983). A zona costeira do sul do Estado de Sergipe apresenta duas unidades geomorfológicas (3º nível taxonômico do IBGE, 2009): tabuleiros costeiros e planície costeira, que estão em contato entre si por falésias inativas. A planície costeira foi dividida em sete subunidades (4º nível taxonômico – modelados de acumulação do IBGE, 2009): terraços marinhos internos, paleodunas, planícies fluviomarinhas/lagoas, terraços marinhos externos, dunas atuais/interdunas, planícies de maré/manguezais e praias, mostradas no quadro 1 e na figura 3.

A figura 4 apresenta o MDT (Fig. 4A) e três perfis topográficos de orientação NW-SE,

perpendiculares à linha de costa, com a indicação das unidades/subunidades geomorfológicas mapeadas (Fig. 4B). A morfologia da área é heterogênea, com diferenças topográficas entre as unidades/subunidades. Os tabuleiros costeiros são as unidades mais elevadas e as paleodunas e dunas atuais se destacam na paisagem da planície costeira. A seguir estão apresentadas as características dos sedimentos, os aspectos geomorfológicos e os resultados do processamento digital de imagens e do modelo digital de terreno para cada unidade/subunidade mapeada. O quadro 2 apresenta as chaves para a interpretação de imagens, que sintetizam as características/elementos que auxiliaram na individualização de cada unidade/subunidade. O quadro 3 mostra a síntese dos aperfeiçoamentos ou das diferenças entre o mapa elaborado nesse trabalho e o mapa pré-existente na literatura.

### 3.1 Tabuleiros costeiros

Os tabuleiros costeiros, localizados na porção mais continental da área de estudo, compreendem os depósitos sedimentares do Grupo Barreiras, constituídos por sedimentos de granulação variada, de argila a cascalho, pobremente selecionados, e coloração diversa, podendo ser avermelhada, alaranjada ou esbranquiçada (Fig. 5A). Alguns níveis destes depósitos estão endurecidos, cimentados provavelmente por óxidos de ferro, responsável pela coloração avermelhada. A altitude varia entre 10 e 80 m.

Sua morfologia é ondulada (Fig. 5A), não sendo típica dos tabuleiros costeiros. De acordo com Nunes *et al.* (2011) e Moura-Fé (2014), esta unidade apresenta normalmente topos aplainados. Esta característica peculiar presente na área investigada pode ser explicada pela grande quantidade de drenagens, com interflúvios estreitos, que favorecem ainda mais a atuação dos processos erosivos.

As falésias, esculpidas pelas ondas durante a transgressão de 120.000 anos A.P., são denominadas de inativas por estarem distante da linha de costa atual e não serem mais retrabalhadas pela ação das ondas (Bittencourt *et al.*, 1983; Dominguez *et al.*, 1992; Dominguez,

2006). Essas falésias inativas são descontínuas, pois são entrecortadas por muitas drenagens.

A delimitação dessa unidade apresentou maior nitidez e discriminação na composição colorida falsa cor R7/G5/B3. A vegetação apresenta alta refletância nas bandas 3 e 5 (G e NIR – verde e infravermelho próximo; Steffen, 2020). O solo exposto contrasta com a vegetação quando colocado na banda 7 (infravermelho de ondas curtas – SWIR; Meneses & Almeida, 2012). Esta unidade e as drenagens que a cortam apresentaram colorações amarelada e esverdeada, respectivamente (Fig. 5B).

O contraste por realce de contraste linear após realizada a composição colorida, como recomendado por Nascimento (2017a), destacou os alvos, facilitando a sua identificação e delimitação visual (Fig. 5C). O MDT também auxiliou na delimitação dos tabuleiros costeiros devido à diferença de altitude entre esta unidade e a planície costeira (Fig. 5D).

### 3.2 Planície costeira

#### 3.2.1 Terraços marinhos internos

Os terraços marinhos internos, denominados por Bittencourt *et al.* (1983) de terraços marinhos pleistocênicos (Fig. 6A), foram formados durante a regressão marinha que sucedeu a transgressão de 120.000 anos A.P., quando o nível do mar chegou a 8 m acima do nível do mar atual. Esta subunidade está localizada na porção mais interior da planície costeira, com altitudes que variam entre 8 e 10 m. Os sedimentos que a constituem apresentam granulação areia fina a areia média e grau de selecionamento de pobre a moderadamente selecionado.

Sobre os terraços marinhos estão presentes vestígios de cordões litorâneos, separados entre si por depressões alongadas. O conjunto de cordões litorâneos/depressões apresenta formato aproximadamente retilíneo, predominantemente paralelo à linha de costa atual. No total foram individualizados dois e quatro cordões litorâneos nas áreas próximas e afastadas dos rios Vaza-Barris e Real/Piauí, respectivamente.

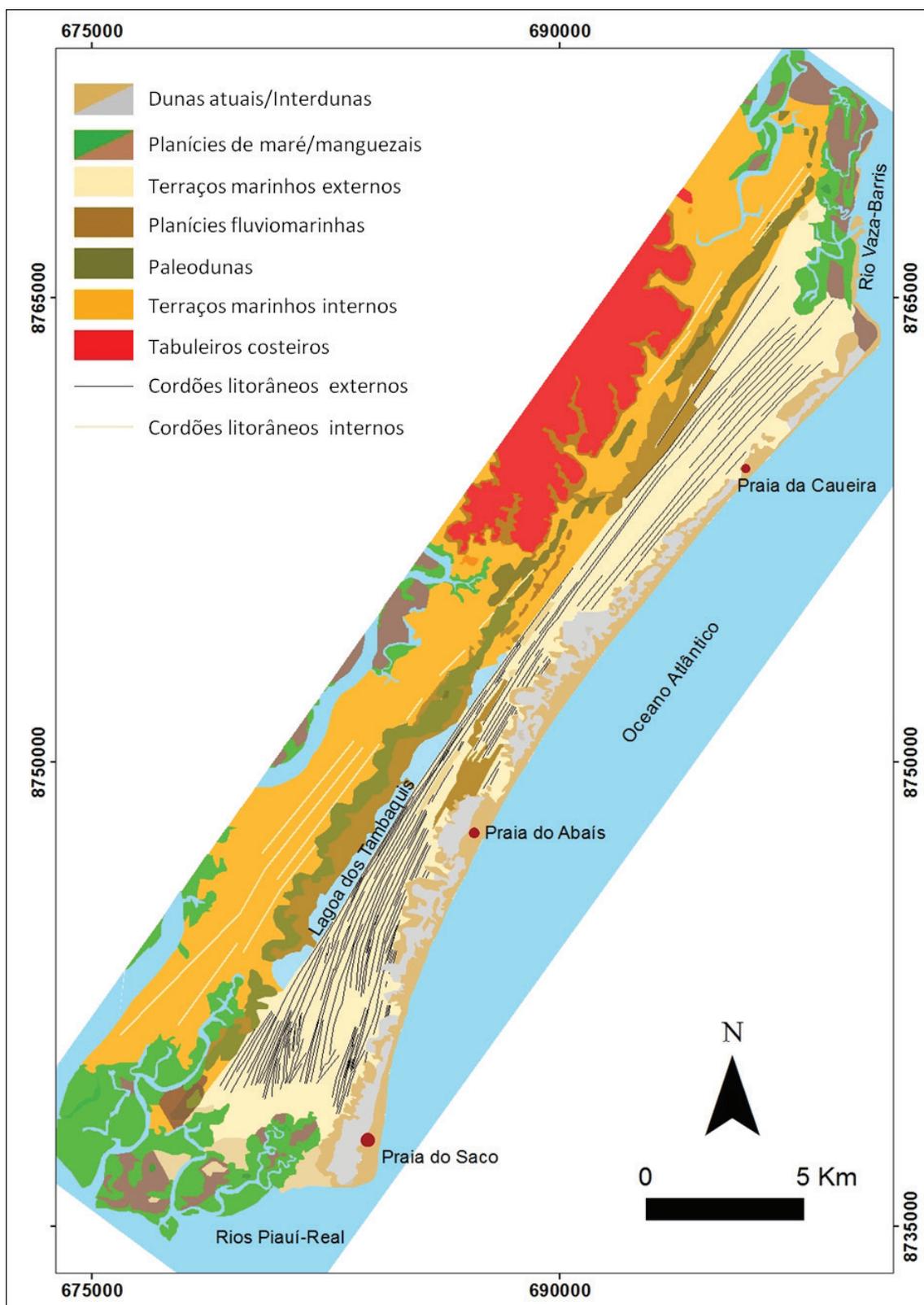


Figura 3. Geomorfologia da zona costeira sul de Sergipe.  
Figure 3. Geomorphology of the southern coastal zone of Sergipe.

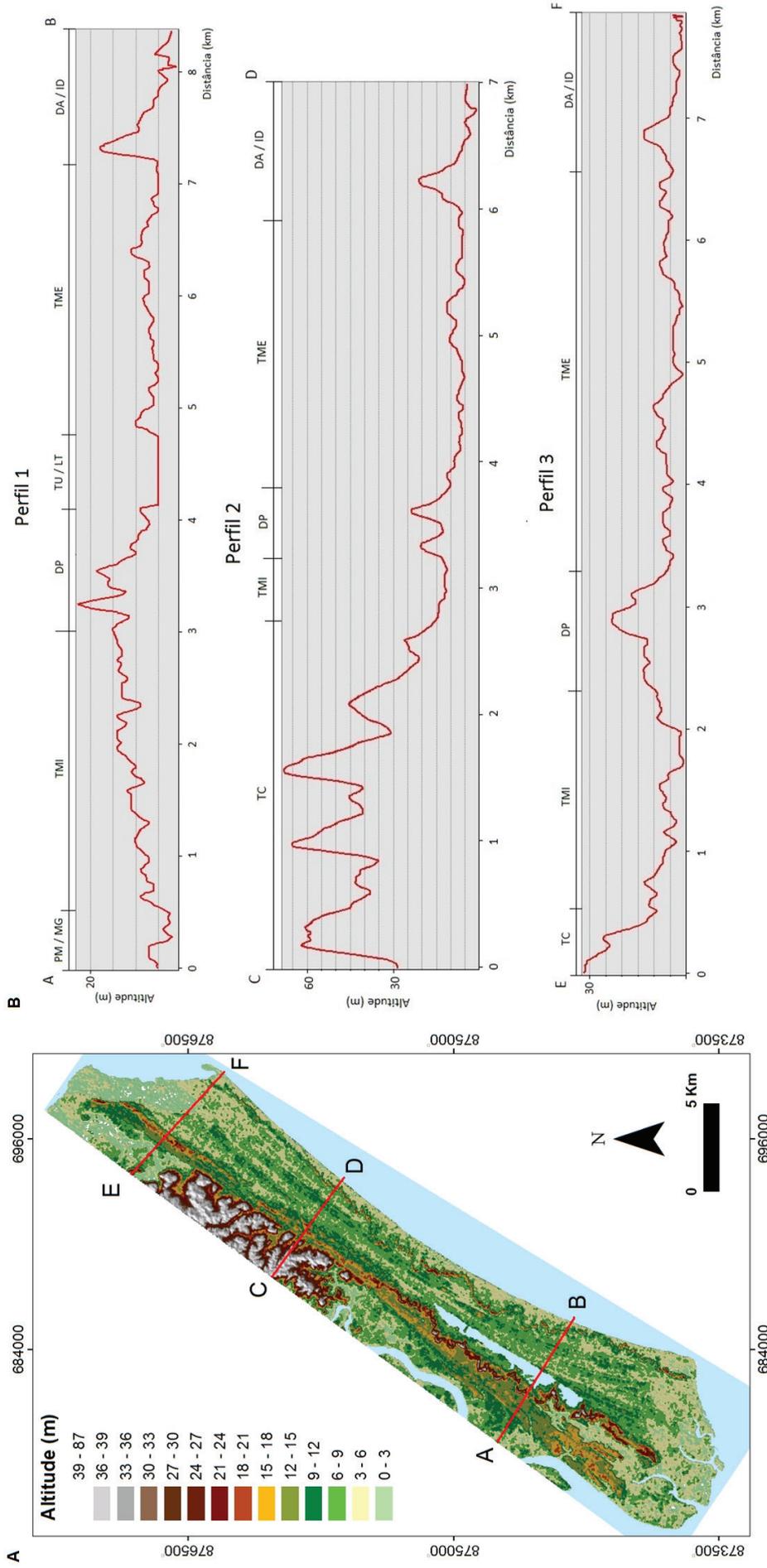


Figura 4. Modelo digital de terreno (MDT) e perfis topográficos obtidos para a zona costeira sul de Sergipe. A) MDT; B) Perfis topográficos A-B, C-D e E-F. TC: tabuleiros costeiros; TMI: terraços marinhas / lagoas; TU/LG: planícies fluvio-marinhas / lagoas; TME: terraços marinhas externos (TME); PM/MG: planícies de maré/manguezais; DA/ID: dunas atuais/interdunas.

Figure 4. Digital terrain model (DTM) and topographic profiles obtained for the southern coastal zone of Sergipe. A) DTM; B) A-B, C-D e E-F topographic profiles. TC: coastal tablelands; TMI: internal marine terraces; TU/LG: fluvial-marine plains /ponds; TME: external marine terraces; PM/MG: tidal plains/mangroves; DA/ID: current dunes/interdunes.

Quadro 2. Chaves de interpretação de imagens que sintetizam as características/elementos e emprego do MDT na delimitação de cada unidade/subunidade.

Chart 2. Images interpretation keys that summarize the characteristics/elements and use of MDT in the delimitation of each unit/subunit.

<b>Classes / características das imagens</b>	<b>Composição colorida</b>	<b>Tonalidade / cor</b>	<b>MDT</b>
Tabuleiros costeiros	R7G5B3	Amarelada	Sim
Terraços marinhos internos	R4G3B2	Verde, e onde há solo exposto amarelada	Indiretamente
Cordões litorâneos	CP <sub>1</sub> RCP <sub>2</sub> GCP <sub>3</sub> B	Cordões em azul claro e terras úmidas entre estes em azul escuro	Não
Paleodunas	R6G5B2	Tonalidade esverdeada	Sim
Planícies fluviomarinhas / lagoas	R7G6B5	Azul, e partes mais úmidas azul escuro	Não
Terraços marinhos externos	R7G6B5	Esverdeada e azulada	Não
Dunas atuais	Todas	Clara (amarelada)	Sim
Interdunas	Todas	Escura (cinza)	Não
Planícies de maré / manguezais	R4G3B2 / R5G6B2- Todas	Vermelha	Não
Praias	Todas	Clara (amarelada)	Não

Os terraços marinhos internos foram melhor visualizados na composição colorida verdadeira cor R4/G3/B2. Nesta composição, apresentou coloração verde nos locais onde há vegetação e esbranquiçada nos locais onde o substrato arenoso encontra-se exposto (Fig. 6B). Esta subunidade, mesmo na composição colorida realçada, é de difícil delimitação devido às subunidades com presença de água em seu entorno, como as planícies fluviomarinhas. O MDT auxiliou indiretamente na delimitação desta subunidade, pois os tabuleiros costeiros e as paleodunas situados em seu entorno são mais elevados. Devido à baixa altitude e aos aspectos originais alterados, os terraços marinhos internos podem ser facilmente confundidos com as planícies fluviomarinhas no MDT (Fig. 6C).

Os cordões litorâneos internos foram realçados, destacados e individualizados na primeira componente principal CP<sub>1</sub> e na composição colorida das três primeiras componentes principais CP<sub>1</sub>R/CP<sub>2</sub>G/CP<sub>3</sub>B (Fig. 7A e B). A CP<sub>1</sub> concentra a totalidade da informação topográfica e praticamente a totalidade do brilho

e do contraste das bandas multiespectrais, representados pelos parâmetros estatísticos média e variância. As CP<sub>2</sub> e CP<sub>3</sub>, apesar de desprovidas de informação topográfica, totalizam junto com a CP<sub>1</sub> toda a informação da reflectância espectral das bandas multiespectrais originais. O triplete CP<sub>1</sub>R/CP<sub>2</sub>G/CP<sub>3</sub>B combinou as três técnicas de processamento digital de imagens: componentes principais, composição colorida e realce de contraste linear.

Na composição colorida, os cordões litorâneos aparecem em azul claro e as depressões situadas entre os cordões em azul escuro, devido à presença de água (terras úmidas). Conforme Nascimento (2017b), a CP<sub>1</sub> é recomendada para destacar as feições lineares, como é o caso dos cordões litorâneos. Por sua vez, a composição colorida das três primeiras componentes apresentou maior realce na distribuição de cores, pois não há correlação entre as bandas. Desta forma, as cores espectrais são puras e saturadas, destacando as feições lineares (cordões litorâneos).

Quadro 3. Síntese dos aperfeiçoamentos ou das diferenças entre o mapa elaborado e o mapa pré-existente na literatura.  
 Chart 3. Summary of improvements or differences between the map prepared and the pre-existing map in the literature.

<b>Autores</b>	<b>Bittencourt <i>et al.</i> (1983)</b>	<b>Trabalho em questão</b>
<b>Base</b>	Não informada (provavelmente fotografias aéreas pancromáticas, carta topográfica, como era feito nas décadas de 70 e 80 no Brasil)	Imagens de satélite OLI-Landsat 8, dados altimétricos SRTM
<b>Metodologia do mapeamento</b>	Não informada	Compartimentação do relevo com base na taxonomia do IBGE (2006)
<b>Escala de mapeamento</b>	Não informada no artigo, possivelmente 1:250.000 como os demais mapas produzidos pela mesma equipe na Bahia	1:100.000
<b>Terminologias das unidades / subunidades mapeadas (base)</b>	Geomorfologia; geologia; vegetação	Geomorfologia
<b>Unidades mapeadas</b>	-	<b>3º taxon</b>
	Formação Barreiras	Tabuleiros costeiros
	Depósitos quaternários costeiros	Planície costeira
<b>Subunidades mapeadas</b>	-	<b>4º taxon</b>
	Terraços marinhos pleistocênicos	Terraços marinhos internos
	Terraços marinhos holocênicos	Terraços marinhos externos
	Depósitos flúvio-lagunares	Planície fluviomarinha
	Depósitos de mangue	Planícies de maré/manguezais
	Depósitos eólicos (2ª geração de dunas – Pleistoceno)	Paleodunas
	Depósitos eólicos (3ª Geração de dunas - Holoceno)	Dunas atuais/interdunas

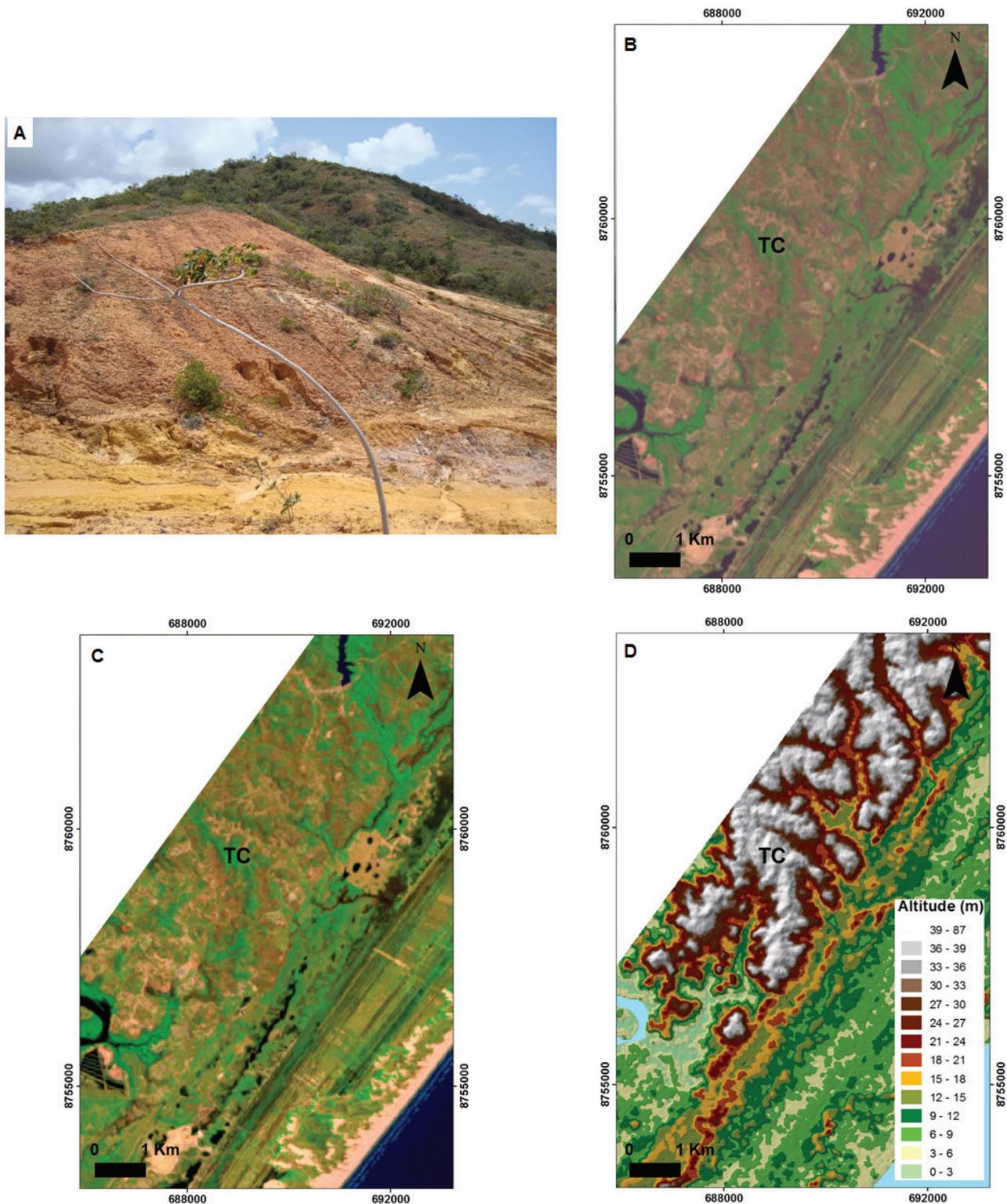


Figura 5. Tabuleiros costeiros (TC). A) Registro fotográfico no ponto LS-24 mostrando superfície ondulada; B) Composição colorida falsa cor R7/G5/B3 do Landsat 8 (sem realce de contraste linear); C) Composição colorida falsa cor R7/G5/B3 do Landsat 8 com realce de contraste linear; D) MDT destacando a elevação e forte dissecação desta unidade.  
 Figure 5. Coastal tablelands (TC). A) Photographic record at LS-24 point showing wavy surface; B) Landsat 8 false color composition R7/G5/B3 (without enhancement of linear contrast); C) Landsat 8 false color composition R7/G5/B3 with linear contrast enhancement; D) MDT highlighting the elevation and strong dissection of this unit.

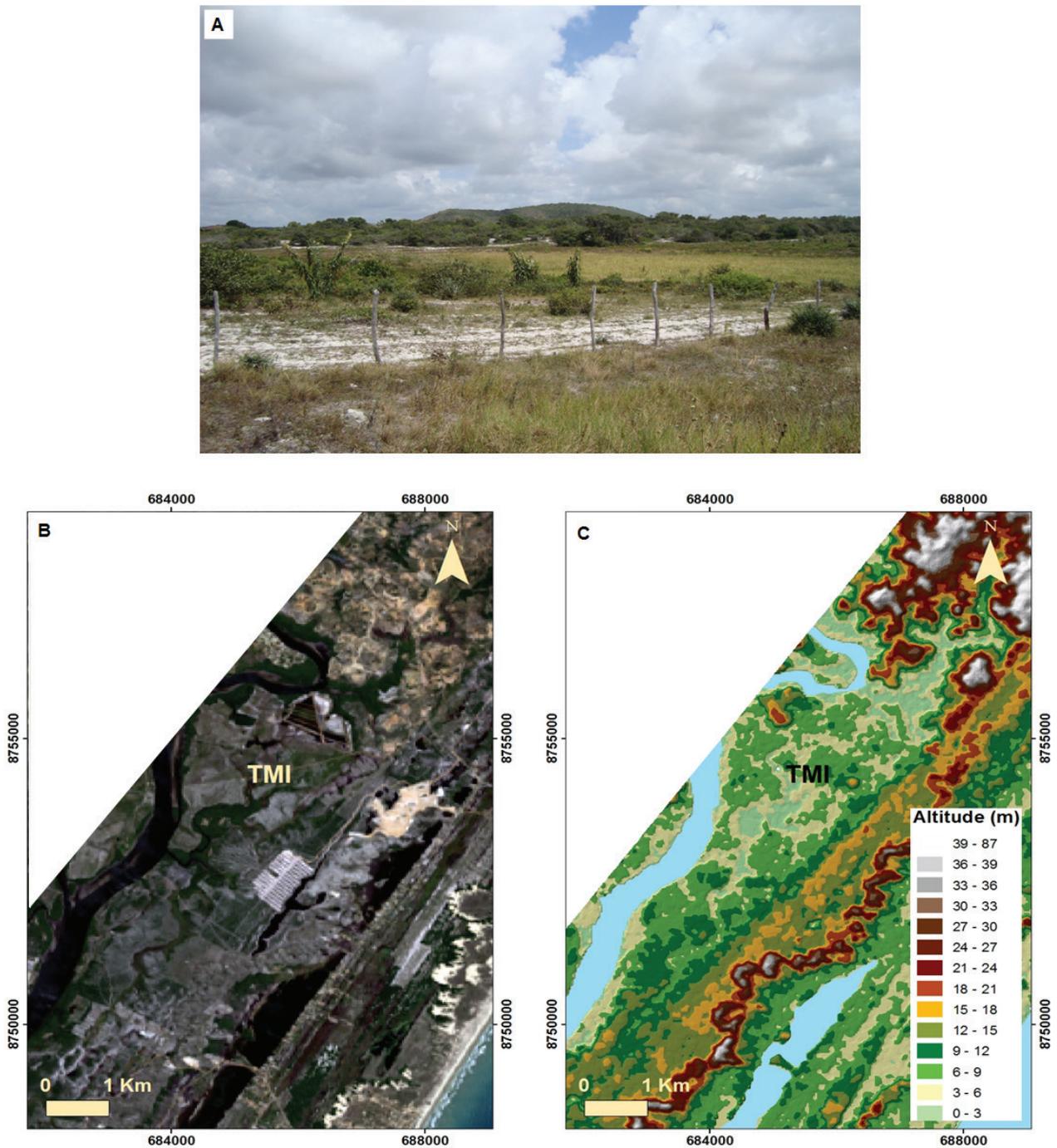


Figura 6. Terraços marinhos internos (TMI). A) Registro fotográfico no ponto LS-20 mostrando os limites entre terraços marinhos internos e tabuleiros costeiros; B) Composição colorida verdadeira cor R4/G3/B2 do Landsat 8 com realce de contraste linear; C) MDT.

Figure 6. Internal marine terraces (TMI). A) Photographic record at the LS-20 point showing the boundaries between internal marine terraces and tablelands; B) Landsat 8 true color composition R4/G3/B2 with linear contrast enhancement; C) MDT.

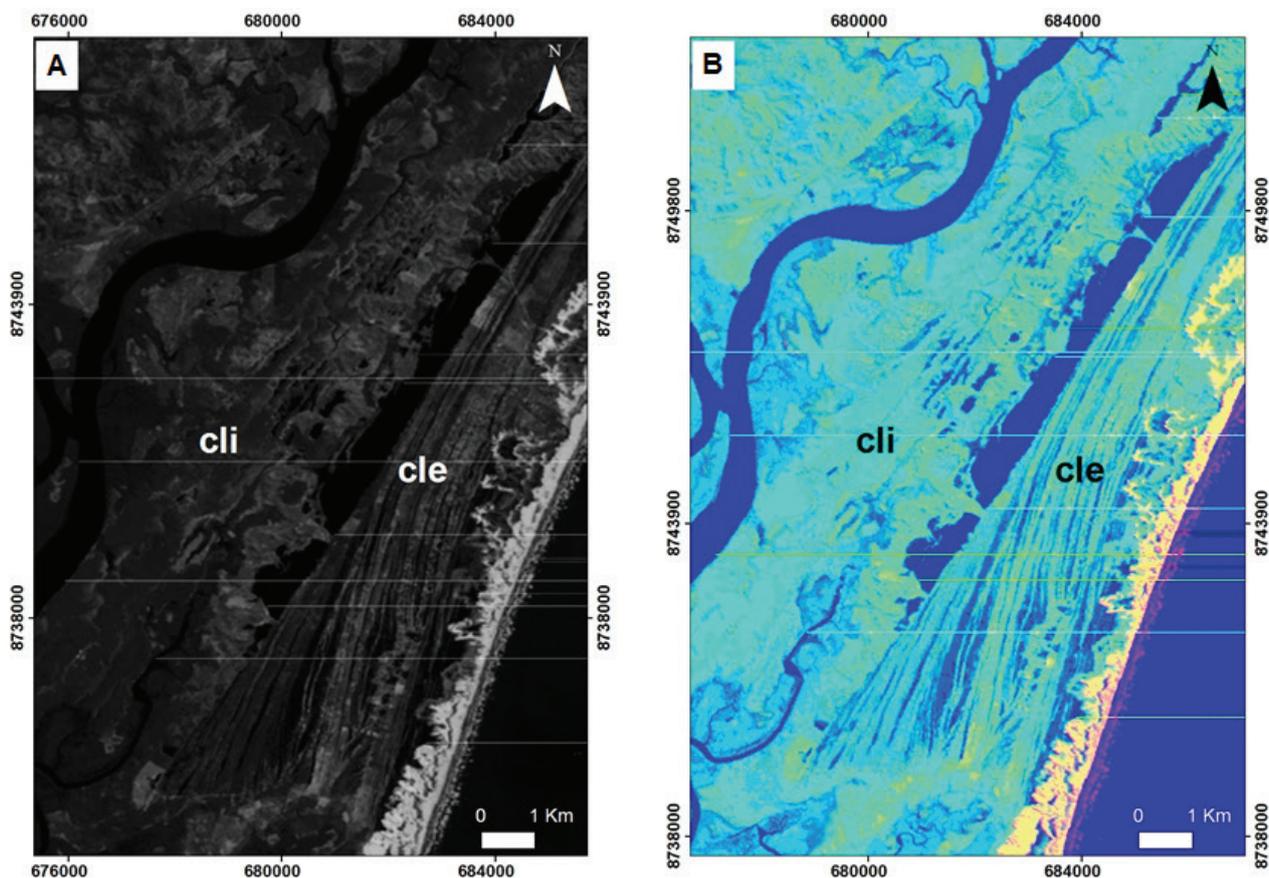


Figura 7. Cordões litorâneos internos (cli) e cordões litorâneos externos (cle). A) CP1; B) composição colorida CP1R/CP2G/CP3B. CP- componentes principais.

Figure 7. Internal beach ridges (cli) and external beach ridges (cle). A) PC1; B) Color composition PC1R/PC2G/PC3B. PC- principal components.

### 3.2.2 Paleodunas

As paleodunas, descritas por Bittencourt *et al.* (1983) como a 2ª geração de dunas do Pleistoceno, recobrem os terraços marinhos internos, sendo assim são mais recentes do que 120.000 anos A.P. Estas dunas, recobertas por vegetação de pequeno porte, encontram-se limitadas pelos terraços marinhos internos e pelas planícies fluviomarinhas/lagoas.

Os sedimentos das paleodunas apresentam granulação areia fina, pobremente a moderadamente selecionados e coloração esbranquiçada. Possuem altitudes médias de aproximadamente 15 m e estão parcialmente erodidas (Fig. 8A) devido provavelmente à(s): (i) inundações que ocorreram durante a transgressão de 5.100 anos A.P., conforme Bittencourt *et al.* (1983); (ii) ausência de aporte de sedimentos e ação eólica intensa; e/ou (iii) atividades antrópicas.

Esta subunidade foi melhor destacada na composição colorida falsa cor R6/G5/B2, onde apresentou coloração amarronzada e contorno irregular característico, contrastando com o verde e a tonalidade mais escura das planícies fluviomarinhas (Fig. 8B). Esse resultado foi similar ao obtido por Tabosa *et al.* (2007), que utilizaram as imagens Landsat 7 na composição colorida falsa cor R5/G2/B1, mostrando um melhor resultado na discriminação da vegetação de dunas. De acordo com ENGESAT (2020), a composição colorida falsa cor das imagens Landsat 7 é equivalente à composição colorida falsa cor R6/G5/B2 das imagens Landsat 8. O MDT foi de extrema importância para a individualização desta subunidade, pois destacou a diferença altimétrica com seus entornos (Fig. 8C).

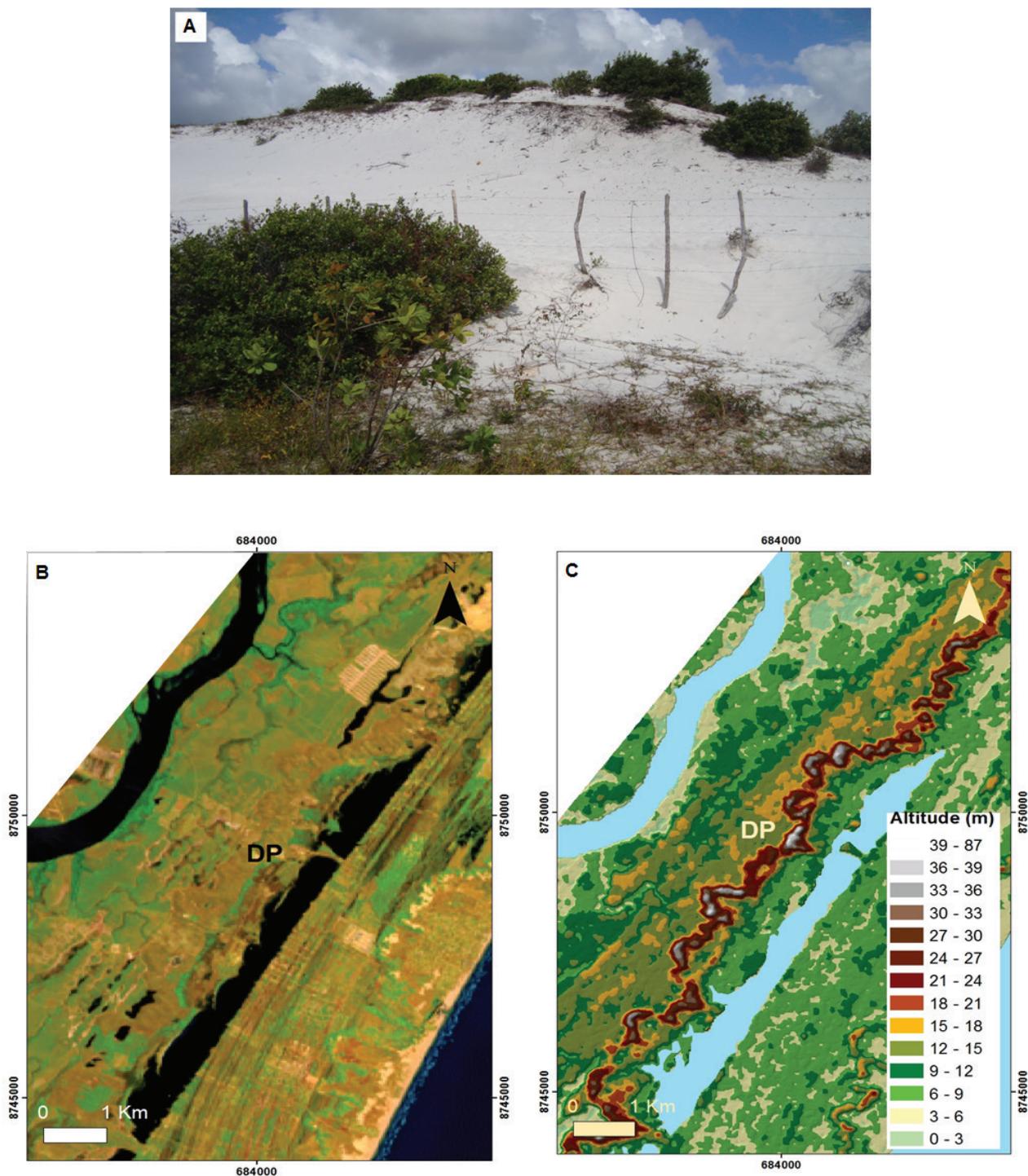


Figura 8. Paleodunas (DP). A) Registro fotográfico no ponto LS-11 mostrando as paleodunas parcialmente erodidas; B) Composição colorida falsa cor R6/G5/B2 do Landsat 8 com realce de contraste linear; C) MDT mostrando as paleodunas e a diferença topográfica com as subunidades no seu entorno.  
 Figure 8. Paleodunes (DP). A) Photographic record at point LS-11 showing the partially eroded paleodunes; B) Landsat 8 false color composition R6/G5/B2 with linear contrast enhancement; C) MDT showing the paleodunes and the topographic difference with subunits in its surroundings.

### 3.2.3 Planícies fluviomarinhas/lagoas

As planícies fluviomarinhas, denominadas de depósitos fluviolagunares por Bittencourt *et al.* (1983), constituem áreas por vezes alagadas (terras úmidas). Devido à sua frequente inundação por águas superficiais ou subterrâneas, as planícies podem suportar vida vegetal e aquática adaptadas às condições de saturação do solo (EPA, 1979).

As planícies fluviomarinhas estão bem distribuídas por toda a planície costeira, sendo encontradas nos vales dos tabuleiros costeiros, nas paleodrenagens desenvolvidas sobre os terraços marinhos (Fig. 9A), nas interdunas e na zona baixa que separa os terraços marinhos internos dos terraços marinhos externos. A origem das planícies fluviomarinhas está relacionada com as variações do nível do mar e a evolução da planície costeira durante o Quaternário (Bittencourt *et al.*, 1983).

As lagoas, dentre as mais conhecidas de norte para sul "Lagoa Grande", "Lagoa Escura" e "Lagoa Seca" (popularmente conhecidas como "Lagoa dos Tambaquis"), situam-se na zona baixa que separa os terraços marinhos internos dos terraços marinhos externos (Fig. 9B). Foram formadas durante a transgressão de 5.100 anos A.P. como uma laguna de águas salobras, quando o nível do mar chegou a 5 m acima do nível do mar atual. Na regressão subsequente, com a formação dos terraços marinhos externos, a laguna perdeu conexão com o oceano e suas águas foram gradualmente substituídas por água doce (Bittencourt *et al.*, 1983). Apesar da constante presença de água, em períodos de estiagem prolongada há uma redução considerável na sua dimensão. Os sedimentos do fundo das lagoas apresentam granulação silte grosso a areia média, muito pobremente a moderadamente selecionados. Por se encontrar por toda a planície costeira do sul de Sergipe, as altitudes das planícies fluviomarinhas variam entre 0 a 6 m.

As planícies fluviomarinhas foram melhor visualizadas na composição colorida falsa cor R7/G6/B5 (Fig. 9C), com coloração variando nas tonalidades de azul, de acordo com a quantidade de sedimentos em suspensão. As lagoas, assim

como os demais corpos d'água superficiais, foram facilmente visualizados e discriminados na maioria das composições coloridas (Fig. 9C e D), devido ao seu comportamento espectral. O corpo hídrico limpo apresenta baixa reflectância no visível, bandas 2, 3 e 4, e uma queda brusca em direção ao infravermelho próximo, banda 5 (Florenzano, 2002; Meneses & Almeida, 2012), até a total absorção. Isso faz com que estes corpos apareçam com coloração escura e pouca reflectância em quase todas as composições coloridas.

### 3.2.4 Terraços marinhos externos

Os terraços marinhos externos, denominados por Bittencourt *et al.* (1983) de terraços marinhos holocênicos, estão localizados na porção mais externa da planície costeira e, portanto, próximos à linha de costa atual (Fig. 10A). Esses terraços ocupam a maior parte da planície costeira. De acordo com estes autores, os terraços marinhos externos foram formados durante a regressão que sucedeu a transgressão de 5.100 anos A.P.

Os sedimentos que constituem esta subunidade possuem granulação areia muito fina e areia fina, e são moderadamente selecionados. Os terraços marinhos externos apresentam altitudes que variam de cerca de 4 a 5 m até o nível do mar atual, sendo topograficamente mais baixos que os terraços marinhos internos. Assim como nos terraços marinhos internos, sobre os terraços marinhos externos estão presentes cordões litorâneos (Fig. 10A), separados entre si por depressões constituídas por terras úmidas.

Porém, ao contrário dos cordões litorâneos internos, os cordões litorâneos externos são mais bem delineados, estreitos e com pouca elevação, semelhantes àqueles descritos na literatura em diversas planícies costeiras ao longo do litoral leste-nordeste brasileiro (Dominguez *et al.*, 1992; Martin & Dominguez, 1994; Andrade & Dominguez, 2002; Dominguez *et al.*, 2009). O conjunto de cordões litorâneos/depressões apresenta-se em forma de arco e é predominantemente paralelo à linha de costa atual, com orientação NE-SW.

No total foram individualizados 30 cordões litorâneos próximos aos rios Piauí/Real e Vaza-

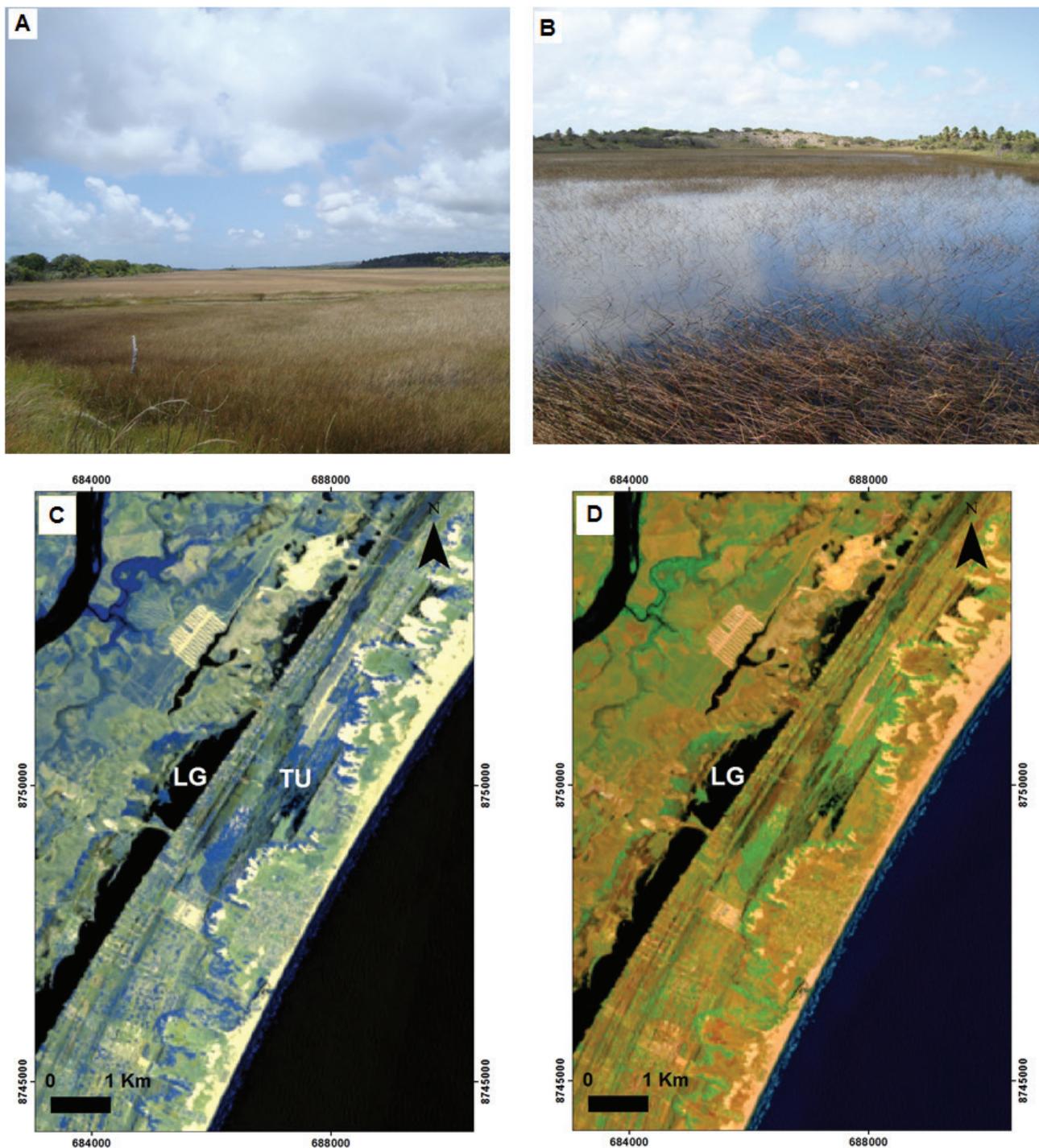


Figura 9. Planícies fluviomarinhas (TU) e lagoas (LG). A) Registro fotográfico no ponto LS-26 mostrando as planícies fluviomarinhas; B) Registro fotográfico no ponto LS-58 mostrando as lagoas; C) Composição colorida falsa cor R7/G6/B5 do Landsat 8 com realce de contraste linear destacando as planícies fluviomarinhas e as lagoas; D) Composição colorida falsa cor R5/G6/B4 do Landsat 8 com realce de contraste linear mostrando as lagoas (LG).

Figure 9. Fluvial-marine plains (TU) and ponds (LG). A) Photographic record at the point LS-26 showing fluvial-marine plains; B) Photographic record at the point LS-58 showing ponds; C) Landsat 8 false color composition R7/G6/B5 with linear contrast enhancement highlighting the fluvial-marine plains; D) Landsat 8 False color composition R5/G6/B4 with linear contrast enhancement showing ponds.

Barris, que estão de acordo com a descrição realizada por Scheffers *et al.* (2011). Como estes terraços marinhos externos se encontram parcialmente recobertos por dunas atuais e áreas alagadas (terras úmidas), principalmente na sua porção central, a quantidade de cordões litorâneos visualizados nesta porção é menor, cerca de oito cordões.

Além disso, estes cordões estão truncados, indicando que a progradação da linha de costa não foi contínua, mas interrompida por eventos erosivos. Os truncamentos mais expressivos se estendem do rio Vaza-Barris ao rio Piauí. Na parte central são encobertos pelas lagoas (Fig. 10B). O truncamento mais interno, que separa os terraços marinhos internos dos terraços marinhos externos, foi formado posteriormente a 5.100 anos A.P. Além deste truncamento, foram encontrados outros truncamentos menores, próximos das desembocaduras dos rios Vaza-Barris e Piauí-Real, relacionados possivelmente à mudança de posicionamento do canal destes rios conforme verificado na planície costeira de Caravelas (Andrade & Dominguez, 2008). Entretanto, muitos dos truncamentos podem estar recobertos por dunas, dificultando a visualização e impedindo o seu estudo mais aprofundado.

Os cordões litorâneos externos são paralelos à linha de costa atual. Isso pode significar que os fatores controladores da evolução costeira (ventos alísios, ondas e deriva litorânea) durante o Quaternário foram bem semelhantes aos dias atuais. Isso corrobora ao trabalho de Dominguez *et al.* (1992), que mostraram que estes ventos foram constantes desde o Pleistoceno.

Os terraços marinhos externos foram melhor visualizados na composição colorida falsa cor R7/G6/B5, com coloração esverdeada e amarelada onde há cobertura vegetal e areia exposta, respectivamente, e coloração azulada nas terras úmidas intercordões (Fig. 10C).

Polizel & Rossetti (2014), para a delimitação dos cordões litorâneos e terras úmidas intercordões, utilizaram a composição colorida R4/G7/B2 das imagens Landsat 5, pois tem resposta espectral alta nos cordões litorâneos e resposta espectral baixa em áreas alagadas (terras úmidas intercordões). No entanto, optou-

se por utilizar os componentes principais para a extração dos cordões litorâneos, pois delimitam melhor as linhas, conforme destacado por Nascimento (2017b). Os cordões litorâneos externos, assim como os internos, foram individualizados na CP<sub>1</sub> realçada (Fig. 7A), além da composição colorida CP1R/CP2G/CP3B (Fig. 7B).

### 3.2.5 Dunas atuais/interdunas

As dunas atuais, denominadas por Bittencourt *et al.* (1983) de 3ª geração de dunas, do Holoceno, estão situadas entre os terraços marinhos externos e as praias (Fig. 11A), e recobrem parcialmente os terraços marinhos externos. Os sedimentos que as constituem apresentam granulação que varia de areia muito fina a areia fina, com selecionamento moderado. As dunas têm altitude média de cerca de 6 m.

De acordo com Barbosa & Dominguez (2004), que realizaram trabalho no campo de dunas da foz do rio São Francisco, as dunas atuais podem ser divididas em dois tipos: dunas fixas, recobertas por vegetação, e dunas móveis, na retaguarda da linha de costa atual. As dunas fixas e móveis são separadas pelas interdunas. Na área de estudo existem dunas atuais fixas e móveis. No entanto, as dunas móveis não se restringem àquelas situadas na retaguarda da linha de costa. A separação em dunas fixas e móveis não foi feita em função da escala do mapeamento.

As interdunas, situadas na região entre dunas, não foram discriminadas por Bittencourt *et al.* (1983). Constituem áreas alagadas (terras úmidas) com sedimentos do tamanho areia muito fina a fina, moderadamente selecionados e com altitude média de 2 a 3 m. A presença de cristas irregulares e paralelas entre si nas interdunas foi visualizada nas imagens de satélite. Estas cristas são indícios da migração das dunas móveis, que segundo Dominguez *et al.* (1992), ocorre durante os períodos secos.

Para a visualização e individualização das dunas, qualquer composição colorida pode ser utilizada, já que a areia quartzosa, desprovida de vegetação, possui alta reflectância, tanto no visível quanto no infravermelho (Fig. 11B

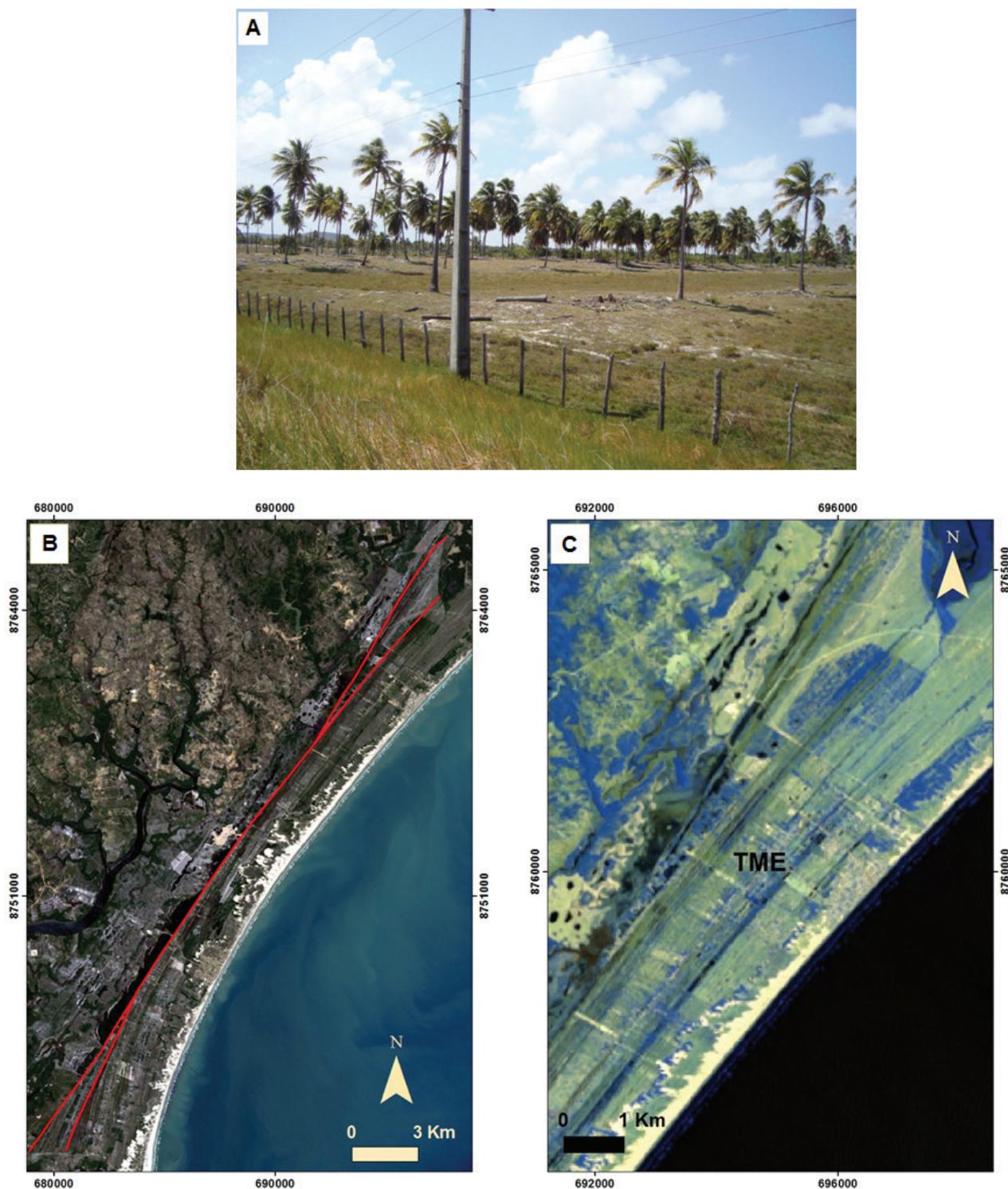


Figura 10. Terraços marinhos externos (TME). A) Registro fotográfico no ponto LS-42 mostrando um cordão litorâneo recoberto por coqueiros e depressão intercordões ocupada por terras úmidas; B) Truncamentos dos cordões litorâneos destacados por linha em vermelha; C) Composição colorida falsa cor R7/G6/B5 do Landsat 8 com contraste linear, destacando a cobertura vegetal em tons esverdeados, areia exposta em tons amarelados e as terras úmidas intercordões em tons azulados.

Figure 10. External marine terraces (TME). A) Photographic record at LS-42 point showing a beach ridge covered by coconut palms and inter beach ridges depression occupied by wetlands; B) Beach ridges truncation indicated by red line; C) Landsat 8 false color composition R7/G6/B5 with linear contrast, highlighting the vegetation cover in greenish tones, exposed sands in yellowish tones and wetlands in bluish tones.

e C), corroborando a Tabosa *et al.* (2007). Adicionalmente, Hugenholtz *et al.* (2012) obtiveram bons resultados utilizando fotografias aéreas monocromáticas, reforçando a facilidade de delimitação das dunas desprovidas de vegetação.

As interdunas também podem ser facilmente visualizadas em qualquer composição colorida devido à presença das áreas alagadas (terras úmidas), que as deixam com tonalidades mais escuras, aumentando contraste com as dunas (Fig. 11B e C). O MDT auxiliou na delimitação desta unidade apenas na porção mais interna. Esta técnica para delimitação de dunas, que normalmente são mais altas que seus entornos, foi utilizada com sucesso por Hugenholtz *et al.* (2012). As dunas que bordejam a linha de costa atual não ficaram evidentes no MDT devido à baixa altitude (Fig. 11 D).

### 3.2.6 Planícies de maré/manguezais

As planícies de maré/manguezais (Fig. 12A), denominadas por Bittencourt *et al.* (1983) de depósitos de mangues, estão localizadas próximo às desembocaduras dos rios Piauí/Real e Vaza-Barris. Esta subunidade se desenvolve em terrenos topograficamente planos e baixos, protegidos da ação direta de ondas e sob influência das marés. São subdivididas em três compartimentos: submaré (abaixo do nível da maré), intermarés (entre os níveis da maré baixa e alta; faixa colonizada pela vegetação de mangue) e supramaré (parte desprovida de vegetação).

Nos manguezais, a granulação dos sedimentos varia de silte médio a areia fina, com selecionamento pobre a moderado. Na região de supramaré, os sedimentos apresentam fração lamosa, moderadamente selecionados. Estas subunidades apresentam altitudes que variam de 2 m até o nível do mar atual.

Para a delimitação dos manguezais pode ser utilizada quase todas as composições coloridas. No entanto, empregando as bandas 3 e 5, o destaque da vegetação é maior em decorrência do seu comportamento espectral. Neste sentido, a melhor composição colorida falsa cor para a delimitação do manguezal teoricamente seria R5/G6/B4, onde a banda 5, que é a banda do infravermelho próximo, colocada no vermelho

destaca a vegetação. De acordo com Kuenzer *et al.* (2011), o comportamento espectral da vegetação de mangue tem uma baixa reflectância no visível e um pico no infravermelho próximo. Entretanto, comparando-se com as demais composições coloridas testadas, foi verificado que a vegetação de mangue se destacou independente da composição colorida, devido ao contraste da vegetação com seu entorno (Fig. 12B e C).

De fato, Tabosa *et al.* (2007) obtiveram boa visualização dos manguezais na composição colorida R5/G2/B1 do Landsat 7-ETM+. Souza Filho *et al.* (2005) utilizaram a banda 4, também do Landsat 7-ETM+, para o monitoramento dos manguezais na costa norte brasileira. Isso demonstra que as composições coloridas utilizadas neste trabalho não são as únicas que conseguem individualizar de forma satisfatória esta subunidade. Para a delimitação da região de supramaré foi utilizada a composição colorida cor verdadeira R4/G3/B2. Isso se deve ao fato desta subunidade fazer limite com os terraços marinhos externos e este limite muitas vezes é sutil, sendo de mais fácil detecção nesta composição por apresentar as cores mais próximas da visão humana (Fig. 12D).

### 3.2.7 Praias

As praias, de desembocadura fluvial (Fig. 13A) ou oceânica (Fig. 13B e C), são compostas por sedimentos do tamanho areia fina, moderadamente selecionados. Estas características dos sedimentos praias associadas aos eventos meteo-oceanográficos do litoral de Sergipe favoreceram o desenvolvimento das dunas costeiras. Estas características dos sedimentos também são encontradas em outras praias bordejadas por dunas, a exemplo do litoral do Estado do Piauí (Silva & Lima, 2020).

A granulação dos sedimentos das praias (areia fina) foi semelhante a dos sedimentos dos terraços marinhos internos (areia fina e média) e externos (areia muito fina e fina). Esta granulação associada a outros fatores (baixa declividade, etc.) caracteriza as praias dissipativas ou intermediárias-dissipativas, estágio morfodinâmico das praias atuais, de acordo com Oliveira (2003) e Dominguez *et al.* (2016).

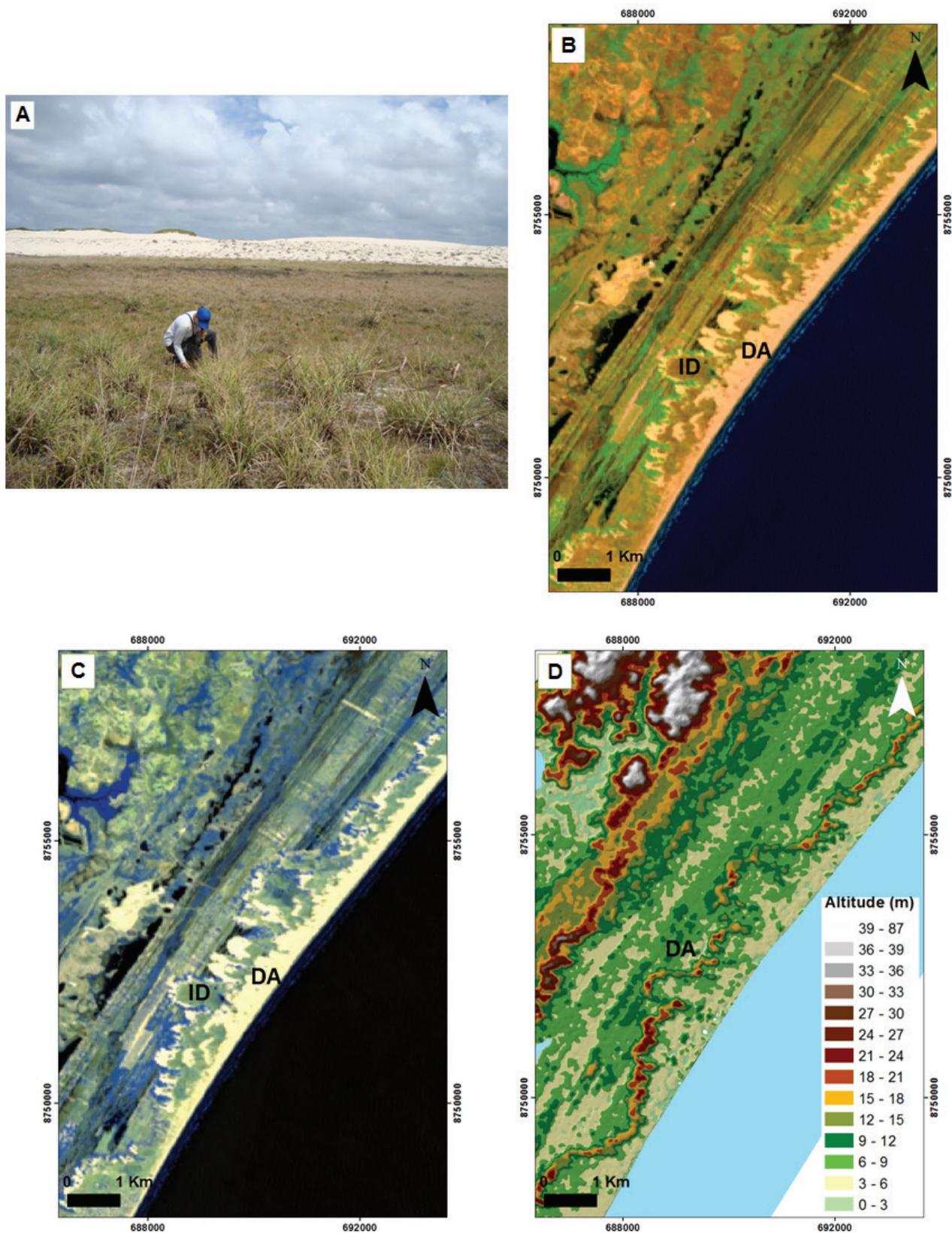


Figura 11. Dunas atuais (DA) e interdunas (ID). A) Registro fotográfico no ponto LS-44C mostrando duna (areia exposta) e interduna (terras úmidas); B) Composição colorida falsa cor R6/G5/B2 do Landsat 8; C) Composição colorida falsa cor R7/G6/B5 do Landsat 8; D) MDT destacando as dunas atuais.  
 Figure 11. Current dunes (DA) and interdunes (ID). A) Photographic record at LS-44C point showing dune (sand exposed) and interdune (wetlands); B) Landsat 8 false color composition R6/G5/B2; C) Landsat 8 false color composition R7/G6/B5; D) MDT highlighting the current dunes.

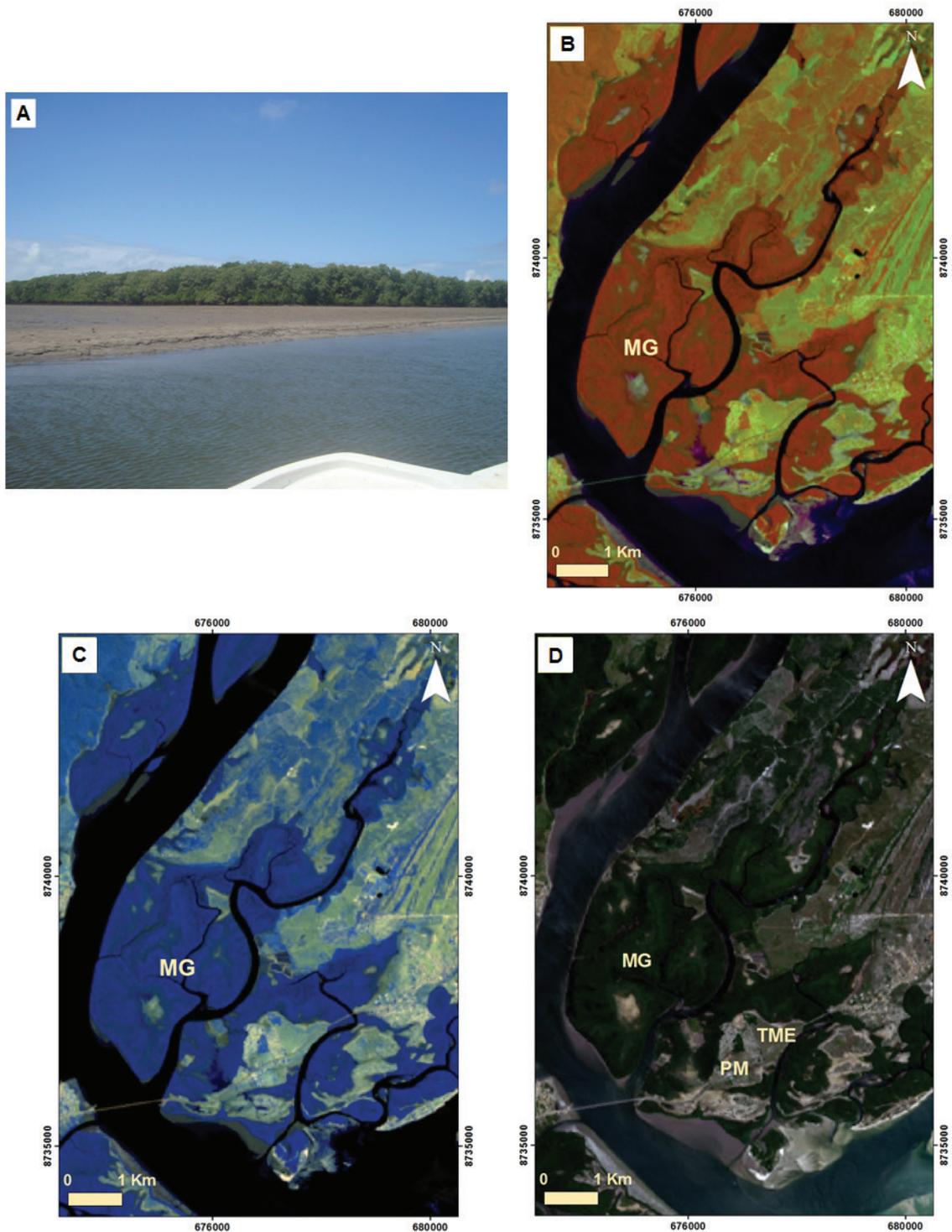


Figura 12. Planícies de maré, com manguezais. A) Registro fotográfico no ponto LS-02 mostrando a vegetação de mangue em região de intermarés (ecossistema manguezal); B) Composição colorida falsa cor R5/G6/B4 do Landsat 8 com contraste linear destacando os manguezais; C) Composição colorida falsa cor R7/G6/B5 do Landsat 8 com contraste linear destacando os manguezais; D) Composição colorida verdadeira cor R4/G3/B2 do Landsat 8 com contraste linear destacando os manguezais.

Figure 12. Tidal plains, with mangroves. A) Photographic record at LS-02 point showing the mangrove vegetation in the intertidal region (mangrove ecosystem); B) Landsat 8 false color composition R5/G6/B4 with linear contrast highlighting mangroves; C) Landsat 8 false color composition R7/G6/B5 with linear contrast highlighting mangroves; D) Landsat 8 True color composition R4/G3/B2 with linear contrast highlighting mangroves.



Figura 13. Praias. A) Registro fotográfico no ponto LS-07D do setor sul da praia do Saco (praia de desembocadura fluvial); B) Registro fotográfico no ponto LS-08 da praia do Abaís (praia oceânica); C) Registro fotográfico no ponto LS-38 da praia da Caueira (praia oceânica).

Figure 13. Beaches. A) Photographic record at the point LS-07D of the southern sector of Saco beach (river mouth beach); B) Photographic record at the point LS-08 of Abaís beach (ocean beach); C) Photographic record at the point LS-38 of Caueira beaches (ocean beach).

Da mesma forma que as dunas, as praias são constituídas por areias quartzosas e, por isso, apresentam alta reflectância. Dessa forma, qualquer composição colorida poderia ser utilizada para a sua delimitação. No entanto, como as praias na área investigada são bordejadas por dunas atuais, e como as praias e as dunas são caracterizadas por areia seca, o limite entre estas duas subunidades não ficou claro nas imagens de satélite. Além disso, trata-se de uma subunidade bastante dinâmica, em constante mudança. Adicionalmente, a resolução da imagem de satélite e a escala deste trabalho dificultaram a individualização da praia no mapa geomorfológico produzido nesse trabalho. Assim sendo, esta subunidade não foi delimitada.

#### 4 Considerações finais

A utilização conjunta de técnicas de processamento digital de imagens, modelo digital de terreno e trabalho de campo se mostrou eficiente na confecção de um mapa geomorfológico. O erro médio quadrático das imagens OLI-Landsat 8 são menores do que a sua resolução espacial, mostrando que os erros de georreferenciamento são aceitáveis para uma escala de mapeamento de 1:100.000, sendo este erro menor do que 1%.

Em função das diferentes características geomorfológicas e sedimentológicas, as unidades/subunidades mapeadas apresentaram respostas distintas, principalmente em relação à cor e ao relevo (ou textura), no processamento digital de imagens e no modelo digital de terreno. No processamento digital de imagens foi possível estabelecer as diferenças entre tipos de vegetação, destacando-se principalmente os manguezais; locais com substrato arenoso exposto, como dunas atuais e praias, devido ao comportamento espectral das areias quartzosas; áreas com "água limpa" e "água com sedimento em suspensão", como planícies fluviomarinhas e lagoas; e alinhamentos e truncamentos dos cordões litorâneos internos e externos. O PDI, com as técnicas de realce de contraste linear, componentes principais e composição colorida, utilizando as composições coloridas R7/G5/B3, R7/G6/B5, R5/G6/B4, R6/G5/B2, R4/G3/

B2, CP1R/CP2G/CP3B e CP1, destacou as unidades/subunidades geomorfológicas visíveis e interpretáveis nas imagens *Landsat 8*. Por outro lado, o MDT foi de especial importância para destacar as unidades com diferenças topográficas, como tabuleiros costeiros, paleodunas e dunas atuais. Essas técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas em diversos outros trabalhos de mapeamentos geomorfológicos de zonas costeiras no Brasil e no mundo. Vale ressaltar que existem outras composições coloridas que podem ser utilizadas para as delimitações das feições morfológicas de zonas costeiras.

Foi possível ainda destacar outros aspectos da morfologia da área investigada, como presença de uma topografia ondulada nos tabuleiros costeiros, discrepando com o convencional, onde esta unidade apresenta topografia aplainada; presença de paleodunas erodidas, sendo que essa erosão pode ter sido causada pela inundação ocorrida durante a transgressão de 5.100 anos A.P., ausência de aporte de sedimentos e ação eólica intensa e/ou por atividades antrópicas; presença de paleocanais de drenagem, que evidenciam o escoamento de águas, possivelmente na regressão subsequente à transgressão de 5.100 anos A.P.; importante e expressivo truncamento dos cordões litorâneos internos, que estaria associado à transgressão mais recente ocorrida a cerca de 5.100 anos A.P.; e truncamentos menores que podem indicar variações na posição das desembocaduras dos rios ou outras pequenas mudanças ambientais. De qualquer forma, a presença de truncamentos indica que a progradação da linha de costa durante o Quaternário não foi contínua, mas interrompida por eventos erosivos.

Este trabalho permitiu renomear adequadamente as unidades/subunidades, padronizando as terminologias, onde todas enfatizam os aspectos geomorfológicos. O termo fluviolagunar foi substituído por fluviomarinho por não ter sido encontrada nenhuma evidência de uma paleolaguna nos locais indicados no mapa anterior, e sim de paleocanais. Além disso, o mapeamento permitiu individualizar unidades não mostradas em trabalhos anteriores, com a diferenciação

entre dunas e interdunas, e entre planícies de marés e manguezais. Dessa forma, o mapa geomorfológico produzido nesse trabalho refinou os mapas confeccionados anteriormente com o uso do sensoriamento remoto e da proposta metodológica de taxonomia do relevo. Adicionalmente, a caracterização do substrato sedimentar de cada unidade/subunidade é de extrema importância como um inventário de informações, caso essas sejam recobertas por construções antrópicas no futuro. A produção de um mapa geomorfológico em escala de maior detalhe e com informações que não foram descritas anteriormente pode servir como subsídio para o planejamento ambiental da área investigada.

**Agradecimentos.** O presente trabalho constitui o capítulo principal da dissertação de mestrado da primeira autora e foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral (LAPA), por disponibilizar a licença *online* do programa ArcGIS 10.2.1 para uso nesse trabalho. Finalmente, agradecemos à Dra. Nina Simone Vilaverde Moura e aos revisores anônimos pelas críticas construtivas.

## Referências

- Albino, J., Coelho, A.L.N., Muehe, D., Klum-oliveira, L. & Dias, F.C. 2020. Mapeamento dos terraços de abrasão ao longo do Espírito Santo com o uso de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(1): 33-44.
- Andrade, A.C.S. & Dominguez, J.M.L. 2002. Informações geológico-geomorfológicas como subsídios à análise ambiental: o exemplo da planície de Caravelas-Bahia. *Boletim Paranaense de Geociências*, 51:9-17.
- Andrade, A.C.S. & Dominguez, J.M.L. 2008. O fenômeno de erosão costeira na região de Caravelas, Bahia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 43., 2006, Aracaju. Coletânea de Trabalhos Completos... Salvador, SBG, p. 241-244.
- Arcanjo, J.B.A. 2011. Fotogeologia: conceitos,

- métodos e aplicações. Salvador: CPRM/SGB, 144p.
- Barbosa, L.M. & Dominguez, J.M.L. 2004. Coastal dune fields at the São Francisco river strandplain, northeastern Brazil: morphology and environmental controls. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(4): 443-456.
- Bispo, M.P., James, L.A., Shroder Jr, J.F. & Walsh, S.J. 2012. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: concepts, issues and research. *Geomorphology*, 137(1): 5-26.
- Bittencourt, A.C.S.P., Martin, L., Dominguez, J.M.L. & Ferreira, Y.A. 1983. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(2): 93-97.
- Blaszczynski, J.S. 1997. Landform characterization with geographic information systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(2): 183-191.
- Boori, M.S. 2010. Coastal Vulnerability, adaptation and risk assessment due to environmental change in Apodi-Mossoro estuary, Northeast Brazil. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(3): 620-638.
- Braz, A.M., Xavier, F.V. & Garcia, P.H.M. 2018. Análise da diferença entre dados altimétricos em uma bacia hidrográfica através da comparação entre modelos digitais de elevação. *Ateliê Geográfico*, 12(1): 71-96.
- Brückner, H. & Schellman, G. 2003. Late Pleistocene and Holocene shorelines of Andreéland, Spitsbergen (Svalbard) – geomorphological evidence and palaeo-oceanographic significance. *Journal of Coastal Research*, 19(4): 971-982.
- Bruun, P. 1962. Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *American Society of Civil Engineers Journal of the Waterways and Harbours Division*, 88(1): 117-132.
- Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M. & Garrido, J.C.P. 1996. SPRING: integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modelling. *Computer and Graphics*, 15(6): 13-22.
- Camargo, M.G. 2006. Sysgran: um sistema de código aberto para análises granulométricas dos sedimentos. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2): 371-378.
- CPSE. Capitania dos Portos de Sergipe, Marinha do Brasil. Tábuas de maré. 2019. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>>. Acesso em: 13 fev. 2019.
- Dominguez, J.M.L. 2006. The coastal zone of Brazil: an overview. *Journal of Coastal Research*, SI 39: 16-20.
- Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P. & Martin, L. 1992. Controls on quaternary evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. *Sedimentary Geology*, 80(3-4): 213 - 232.
- Dominguez, J.M.L., Andrade, A.C.S., Almeida, A.B. & Bittencourt, A.C.S.P. 2009. The holocene barrier strandplains of the State of Bahia. In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (Eds.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin, Springer-Verlag, p. 253 - 288.
- Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P., Santos, A.N. & Nascimento, L. 2016. The sandy beaches of the states of Sergipe-Alagoas. In: Short, A.D. & Klein, A.H.F. (Eds.). *Brazilian Beach Systems*. Florida, Springer-Verlag, p. 281-306.
- ECMWF. European Center for Medium-Range Weather Forecasts. Climate data Aracaju. 2019. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sergipe/aracaju-2192/>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- ENGESAT. 2020. Soluções em imagens de satélite e geoprocessamento. Landsat 8. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- EPA. Environmental Protection Agency. 1979. *Environmental assessment of construction grants projects*. Washington D.C, EPA, 74p.
- Farr, T.C. & Kobrick, M. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos*, 81(48): 583-585.
- Florenzano, T.G. 2002. *Imagens de satélites para estudos ambientais*. São Paulo, Oficina de Textos, 97p.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(3): 3-26.
- Freitas, M.A.P. 2011. *Zona costeira e meio ambiente: aspectos jurídicos*. Curitiba, Juruá, 232p.

- Hongyu, K., Sandanielo, V.L.M. & Junior, G.J.O. 2015. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *Engineering and Science*, 5(1): 83-90.
- Hugenholtz, C.H., Levin, N., Barchyn, T.E. & Baddock, M.C. 2012. Remote sensing and spatial analysis of aeolian sand dunes: A review and outlook. *Earth-Science Reviews*, 111(3-4): 319-334.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Manual técnico de geomorfologia. 2a. ed., Rio de Janeiro, IBGE, 182p.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2018. *Climate change 2018: the physical science basis, contribution of working group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel*. Cambridge, Cambridge University, 243p.
- Jensen, R.R., Gatrell, J.D. & Mclean, D.D. 2007. *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments*. Indiana, Springer-Verlag. 240p.
- King, L.C. 1956. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, 2: 147-268.
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T.V. & Dech, S. 2011. Remote sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sensing*, 3: 878-928.
- Lima, C.C.U. 2010. Evidências da ação tectônica nos sedimentos da Formação Barreiras presentes do litoral de Sergipe e ao norte da Bahia. *Revista de Geografia*, 27(supl.): 140-151.
- Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Vilas Boas, G.S. & Flexor, J.M. 1980. *Mapa Geológico do Quaternário Costeiro do Estado da Bahia*. Salvador, Secretaria das Minas e Energia/ Coordenação da Produção Mineral. Texto Explicativo, 57p. Mapas, escala 1:250.000.
- Martin, L. & Dominguez, J.M.L. 1994. Geological history of coastal lagoons. *Coastal Lagoons Processes (Elsevier Oceanography Series)*, 60(3): 41-68.
- Martin, L., Dominguez, J.M.L. & Bittencourt, A.C.S.P. 2003. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. *Journal of Coastal Research*, 19(1): 101-124.
- Melo, I.D.F. & Pacheco, A.P. 2004. Aspectos da correção geométrica das imagens orbitais. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DE GEOINFORMAÇÃO, 1, 2004, Recife. *Anais... Recife, UFPE*, p. 1-9.
- Meneses, P.R. & Almeida, T. 2012. *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília, UnB, 276p.
- Moura-Fé, M.M. 2014. Barreiras: série, grupo ou formação? *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7(6): 1055-1061.
- Muehe, D. 2002. Geomorfologia costeira. In: Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. (Eds.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p.191-238.
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. 2013. Landsat data continuity mission: continuously observing your world. Disponível em: <[http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission\\_details.html](http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html)>. Acesso em: 25 mar. 2020.
- Nascimento, P.S.R. 2017a. Mapeamento temático por imagens de satélite: subsídio à atividade de mineração quartzítica do município de Ouro Branco (RN). *Revista Geociências UNG*, 16(1): 46-68.
- Nascimento, P.S.R. 2017b. Análise das lineações e lineamentos geológicos da Folha Topográfica Currais Novos na província pegmatítica Borborema no estado do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO, 18, 2017, São Paulo. *Anais... São Paulo, SBSR*, p. 174-180.
- Nascimento, P.S.R. & Garcia, G.J. 2004. Atualização do mapa de vegetação natural e do uso da terra na sub-bacia do Baixo Piracicaba (SP) com o auxílio de imagens TM/ Landsat-5. *Estudos Geográficos*, 2(2): 31-45.
- Novo, E.M.L. 1988. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo, Edgar Blücher, 308p.
- Nunes, F.C., Silva, E.F. & Bôas, G.S.V. 2011. *Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 31p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos).
- Oliveira, L.S. & Andrade, A.C.S. 2012. Dinâmica da paisagem da zona de expansão de Aracaju-SE. *Scientia Plena*, 8(9): 1-6.
- Oliveira, L.S. & Andrade, A.C.S. 2013. Vetores e eixos estruturantes do processo de ocupação da paisagem costeira da zona de expansão de

- Aracaju. *Geonordeste*, 3: 1-4.
- Oliveira, L.S. & Andrade, A.C.S. 2015. A inserção antrópica no modelamento da paisagem costeira da zona de expansão do município de Aracaju/SE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(2): 391-401.
- Oliveira, M.B. 2003. *Caracterização integrada da linha de costa do Estado de Sergipe, Brasil*. Salvador, 102p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- Otvos, E.G. 2000. Beach ridges – definitions and significance. *Geomorphology*, 32(1): 83-108.
- Pianca, C.; Mazinni, P.L.F. & Siegle, E. 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, 1(58): 53-70.
- Polizel, S.P. & Rossetti, D.F. 2014. Caracterização morfológica do delta do rio Doce (ES) com base em análise multissensor. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15(2): 311-326.
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A. & Bamler, R. 2003. The Shuttle Radar Topography Mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4): 241-262.
- Rao D.P. 2002. Remote sensing application in geomorphology. *Tropical Ecology*, 43(1): 49-59.
- Sander, L., Raniolo, L.A., Alberdi, E. & Pejrup, M. 2015. Elevation trends in wide beach-ridge systems retrieved from Landsat images and the SRTM digital surface model. *Journal of Coastal Research*, 31(5):1241-1252.
- Santos, G.C. & Andrade, A.C.S. 2013. Expansão da ocupação humana e evolução da linha de costa na Coroa do Meio e Atalaia – Aracaju-SE. *Geonordeste*, 3: 1-4.
- Santos, L.A. 2015. *Geomorfologia e Quaternário do rio Vaza-Barris, Nordeste, Brasil*. Rio Claro, 82p. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- Scheffers, A., Engel, M., Scheffers, S., Squire, P. & Kelletat, D. 2011. Beach ridge systems - archives for Holocene coastal events? *Progress in Physical Geography*, 36(1): 5-37.
- Silva, C.H.S. & Lima, I.M.M.F. 2020. O litoral do Estado do Piauí: proposta de compartimentação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(1): 17-32.
- Soares, P.C. & Fiori, A.P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias geomorfológicas*, 6(32): 71-194.
- Sousa, M.O.L., Lima, C.C.U; Bezerra, F.H.R.; Nogueira, F.C.C.; Maia, R.P. 2014. Quaternary fault control on the coastal sedimentation and morphology of the São Francisco coastal plain, Brazil. *Tectonophysics*, 633: 98-114.
- Souza Filho, P.W.M. & El-Robrini, M. 2000. Geomorphology of the Bragança coastal zone, northeastern Pará State. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3): 522-526.
- Souza Filho, P.W.M., Gonçalves, F.D., Beisl, C.H., Miranda, F.P., Almeida, E.F. & Cunha, E.R. 2005. Sistema de observação costeira e o papel dos sensores remotos no monitoramento da costa norte brasileira, Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, 57(2): 79-86.
- Steffen, C.A. 2020. Introdução ao sensoriamento remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#carlos>> Acesso em: 21 abr. 2020.
- Tabosa, W.F., Amaro, V.E. & Vital, H. 2007. Análise do ambiente costeiro e marinho, a partir de produtos de sensoriamento remoto na região de São Bento do Norte, NE Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(1): 37-48.
- Tamura, T. 2012. Beach ridges and prograded beach deposits as palaeoenvironment records. *Earth-Science Reviews*, 114(3): 279-297.
- Valeriano, M.M. 2008. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos-SP, INPE, 72p.
- Vital, H., Furtado, S.F.L. & Gomes, M.P. 2010. Response of the Apodi-Mossoró estuary incised valley system (NE Brazil) to sea level fluctuations. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(supl.): 13-24.