

## Monitoramento costeiro em curto tempo das ilhas sedimentares da praia de Ponta Grossa, Icapuí/CE

Lucyanno dos Reis Fernandes<sup>1,2</sup>  
Cynthia Romariz Duarte<sup>1,2</sup>  
Michael Vandesteem Silva Souto<sup>1,2</sup>  
Venerando Eustaquio Amaro<sup>3</sup>  
Cassiano Dias<sup>2</sup>  
Anderson Targino da Silva Ferreira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia - PPGG

<sup>2</sup> Laboratório de Geoprocessamento do Ceará - GEOCE  
Universidade Federal do Ceará - UFC

Campus do Pici, Bloco 912, Departamento de Geologia, 60455-760 - Fortaleza/CE  
lrfc.fernandes@gmail.com; {cynthia.duarte, souto}@ufc.br; casinho.geo@hotmail.com

<sup>3</sup> Laboratório de Geoprocessamento - GEOPRO  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Departamento de Geologia, s/n, Campus, 59078-970 - Natal/RN  
amaro@geologia.ufrn.br

<sup>4</sup> Universidade Guarulhos - UnG  
Mestrado Acadêmico em Análise Geoambiental – MAG  
Pça. Tereza Cristina, nº 229, CEP: 07023-070 Centro Guarulhos/SP.  
atsferreira@prof.ung.br

**Abstract.** The study area is located in the municipality of Icapuí, State of Ceará, located in a coastal region that possesses strong dynamics and is environmentally characterized as sensitive, high coastal vulnerability, composed of fragile geological and environmental units. In remote sensing it is quite difficult to standardize the spatial scale in function of a regular time, yet the manipulation of products of the remote sensors allows very interesting integrations. Particularly in coastal regions of intense dynamics, to identify the amount of sediments that reach the beach implies in the recognition of processes that promote the transport of sandy particles by the action of the winds and coastal drift. In this sense the objective of this work was to monitor the sedimentary islands of the beach in a short period implies a great challenge. The PDI stage consisted of ortorectification, atmospheric correction, spatial cut for window of interest, editing of colored compositions in the RGB/IHS color space and finally vectorization of the sedimentary islands. The methodology sought to integrate the use of multiple sensor products, to compare the results generated in square and cubic meters, and to spatialize the differences in the same temporal and spatial scale. It was observed that in the coastal zone studied the beach of Ponta Grossa, presents a current tendency of sedimentary deposition.

**Palavras-chave:** remote sensing, sedimentary islands, coastal change, sensoriamento remoto, ilhas sedimentares, mudança costeira.

### 1. Introdução

Oliveira e Meireles (2010) consideram os espaços litorâneos ambientes dinâmicos e bastante complexos, sendo estes, conectados com o mar, alvos frequentes da exploração de recursos marinhos, circulação com alocação dos pontos terminais dos fluxos intercontinentais de mercadorias através das atividades portuárias e, modernamente, como apropriação cultural espaço de lazer, principalmente quando ainda estão preservados, sendo mais valorizados.

A erosão costeira, para Souza (2010), é um fenômeno que acontece em todo o planeta e que deve se intensificar nas próximas décadas em decorrência da continuidade e aceleração da elevação do nível do mar (NM), não obstante a mais perniciosas das contribuições sendo a

expansão termal dos oceanos a responsável por cerca de 50% de toda a elevação do NM ocorrida na última década.

O retrocesso generalizado da linha de costa tem sido induzido em grande parte, por ações de natureza antrópica, especialmente as que promovem insuficiência no abastecimento sedimentar ao litoral, como por exemplo, a construção de barragens, a extração de sedimentos fluviais e dragagens portuárias; e as que conduzem à degradação dos sistemas costeiros naturais; como os campos dunares eólicos ou os bancos arenosos submarinos (Farias e Maia, 2010).

Dentro desses eventos, o estado do Ceará não se evade, pois de acordo com os autores supracitados, em estudos de determinação do comportamento da linha de costa em vários trechos do litoral cearense, a partir da análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto e fotografias aéreas, comprovou-se que há uma tendência quase geral de avanço do mar ou perda de cobertura sedimentar no litoral do estado do Ceará que vem promovendo a destruição de casas e estruturas de defesa do litoral.

Seguindo a mesma tendência, no litoral de Icapuí (Figura 1), sabe-se que diferentes agentes costeiros atuam na interface continente-oceano maximizando ou diminuindo a quantidade de sedimentos que chegam a praia. Geralmente, são processos que promovem forte transporte de partículas arenosas pela ação dos ventos intensificados pela deriva litorânea, consequentemente criando um cenário histórico recente de déficit sedimentar (Amaro et al, 2012).

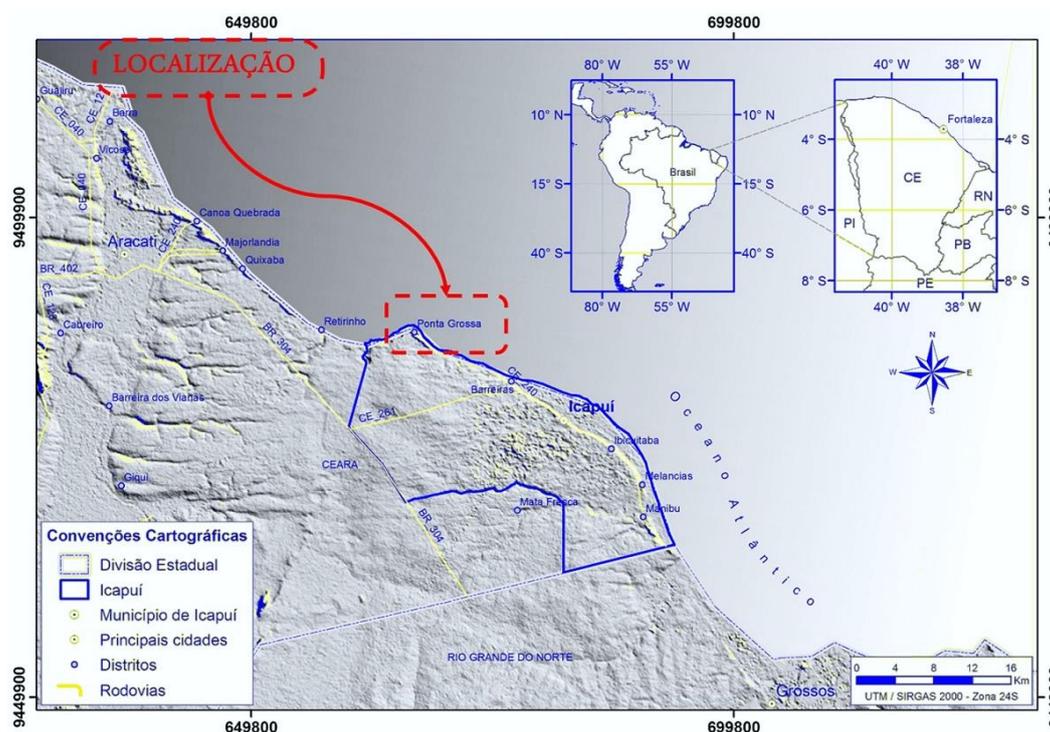


Figura 1. Polígono vermelho indicando a localização da praia de Ponta Grossa, no município de Icapuí estado do Ceará.

Muito embora, este seja um panorama negativo comum a praticamente todo litoral cearense, especificamente, na praia de Ponta Grossa (Figura 1), a situação não é a mesma (Fernandes e Amaral, 2013). O mapeamento e quantificação das coberturas sedimentares desprovidas de vegetação com uso de imagens de sensoriamento remoto associados às análises espaciais por técnicas de geodésia (GNSS - *Global Navigation Satellite System*) podem preencher algumas destas lacunas fornecendo dados precisos em função das perdas e ganhos de área e volume.

## 2. Objetivo

Este estudo objetiva analisar a dinâmica costeira das ilhas sedimentares na praia de Ponta Grossa em um período curto de sete meses, integrando o uso de produtos de Sensoriamento Remoto com ferramentas de Geodésia de precisão.

## 3. Metodologia

Em função dos diferentes materiais utilizados, sistematicamente os métodos foram divididos em duas etapas: a primeira, pertinente ao levantamento topográfico de campo para edição dos modelos digitais de elevação; a segunda, associada a aquisição e processamento dos produtos de sensores remotos.

Admitiu-se neste trabalho que o monitoramento das ilhas sedimentares estava condicionado às datas de aquisição das imagens orbitais segundo os períodos de levantamento de campo. Desta forma, foi possível integrar produtos de múltiplos sensores, comparar os dados gerados em metros quadrados e cúbicos, além de espacializar as diferenças em uma mesma escala temporal e espacial.

### 3.1 Produtos Planialtimétricos (GNSS)

A princípio, dois levantamentos de campo (Tabela 1) ocorreram, respectivamente, nos anos de 2013 e 2014. Os dois campos aconteceram em condições ambientais e percurso semelhantes. Foram realizados em maré baixa, sem evidencia de precipitação, seguindo trajetória indicativa das feições geomorfológicas na faixa de praia, com quatro hora de duração. Mesmo assim o perímetro de cada campo foi diferente, neste caso a área coberta em 2013 foi maior. Para equacionar a questão, criou-se uma janela espacial pertinente a interseção entre todos os campos, representativa do recorte da área de estudo. Todos os dados vetoriais e matriciais manipulados foram executados no mesmo sistema de coordenadas e Datum (UTM/ Zona 24 Sul/SIRGAS2000).

Tabela 1. Produtos de sensores remotos usados, período de aquisição e respectivas datas das campanhas de campo/GNSS. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000.

S.H.	Intervalo	Plataforma - Aquisição		Sensor	Res.Esp.	Datas
<b>Curto</b>		#Landsat/*DigitalGlobe/				
<b>Tempo</b>	Meses	^RapidEye/		Fusão	m	Campo
<b>2014</b>	7	#29/07/2014	^20/07/2014	# OLI + ^Reis	5,0	22/07/2014
<b>2013</b>	0	#01/12/2013	*23/12/2013	# OLI + *Q.Bird	5,3	07/12/2013

A coleta de dados *in situ* ocorridos nos dias 07 de dezembro de 2013 e 22 de julho de 2014, caracterizaram-se por um levantamento planialtimétrico de posicionamento por satélite (GPS geodésico), no qual dois receptores coletaram dados, simultaneamente, durante um determinado intervalo de tempo, sendo um instalado em uma estação de referência GNSS fixa (*base*) e o outro na móvel (*rover*) para determinação das altitudes e localização das coordenadas geográficas das feições observadas durante caminhar na praia. O aparelho foi configurado para marcar um ponto a cada segundo e o receptor utilizado nas estações foram do modelo *Trimble R3*.

Após a etapa de campo os dados foram processados no software *GNSS Solutions* (fabricante LEICA) calculando os valores das altitudes geométricas obtidas com GNSS (elipsóide de referência do sistema SIRGAS2000) que posteriormente foram convertidas em altitudes ortométricas, ou seja, ajustados ao nível médio do mar. Obteve-se o valor altitude Ortométrica (*H*) por meio das diferenças entre as altitudes Geométricas (*h*), determinadas a partir do modelo Geoidal (*N*) gravimétrico do IBGE, do software MAPGEO2015 (IBGE, 2015).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da topografia foi gerado pela interpolação por triangulação com uso da técnica TIN (*Triangulated Irregular Network*) (Amaro et al, 2012). Por fim, foram editados mapas topográficos (MDE) e cartas temáticas ilustrativas das diferenças de volume entre os Modelos de elevação. Sendo assim, adotou-se a escala fixa de mapeamento em 1:15.000.

### 3.2 Produtos Imagem (SR)

A segunda etapa da metodologia consistiu na aquisição, análise, processamento, mapeamento e quantificação das ilhas arenosas por meio de imagens de sensoriamento remoto (S.R.) de média e alta resolução espacial, obtidos gratuitamente (*homepages Earth Explorer/ Google Earth Pro*). O desafio maior foi aproximar ao máximo as datas de aquisição com o período dos campos GNSS, evidentemente, cabe destacar que as fusões propostas na Tabela 1 foram as únicas que obedeceram à premissa do intervalo de tempo condicionado.

O pré-processamento implicou na aquisição, refiticação, correção atmosférica, edição de uma banda pancromática de resolução espacial fina (*falsepan*), fusão de bandas, cálculo das estatísticas (correlação entre bandas), recorte de cena para janela espacial de interesse, realce/contraste e testes de composições coloridas no espaço de cor RGB e IHS.

Da mesma forma que proposto em Fernandes et al (2015), as bandas do sensor OLI2014 e OLI2013 foram integradas respectivamente às imagens RapidEye (REIS) e DigitalGlobe/QuickBird (*GoogleEarth*) na faixa do visível salva em tons de cinza (semelhante a uma imagem pancromática) por meio do processo de fusão produzindo um único arquivo “*multilayer*” (.ERS) com resolução espacial de aproximadamente 5 metros (Tabela 1).

Somente após os procedimentos supracitados, os planos de informação foram adicionados a um ambiente computacional SIG para modelagem e padronização da escala espacial em 1:20.000.

### 3.3 Processamento de Imagens Digitais (PDI)

O PDI implicou necessariamente em destacar as feições geológicas pertinentes aos depósitos de praia. Procurou-se exclusivamente evidenciar (Crósta, 1992) as coberturas arenosas desprovidas de vegetação, principalmente aquelas semelhantes as ilhas ou flechas dispostas paralelamente a linha de costa. Neste artigo, as composições coloridas foram avaliadas no espaço de cor RGB e IHS em função flexibilidade de combinação dos triplete de bandas nos canais de cor, inúmeros possibilidades foram avaliadas.

Neste sentido, após verificar a estatística de correlação das bandas espectrais geradas para os arquivos fusionados (.ers) conforme análise das principais componentes, os arranjos potenciais utilizadas para realce do alvo sedimentar, foram:

- ⇒ A composição ISHI panPC1PC1PC9 (Figura 2A). Realçou claramente em tons de verde claro a área de cobertura sedimentar presente nas ilhas, o campo de duna em tons de rosa; e sedimentos suspensos no mar em um gradiente de tons cinza claro.
- ⇒ O arranjo RGBI PC1PC1PC3+pan+Filtro (Figura 2B) contrastou a zona emersa da submersa. O uso do filtro “*sunangle 5x5*” integrado a Principal Componente 3 no canal do “*Intensity*” permitiu visualizar detalhes de sombreamento, reconhecer as ilhas em tons de lilás e definir os contatos topológicos;
- ⇒ A combinação RGBI PC1PC2PC3pan (Figura 2C). Destaque forte para os sedimentos em tons de amarelo claro, branco e amarelo forte (campo de duna). O uso da PC3 no canal do “*Intensity*” implicou no realce dos sedimentos presentes nas ilhas arenosas em contraste (tons azul marinho) com aqueles sedimentados em áreas alagadas de vegetação úmida.

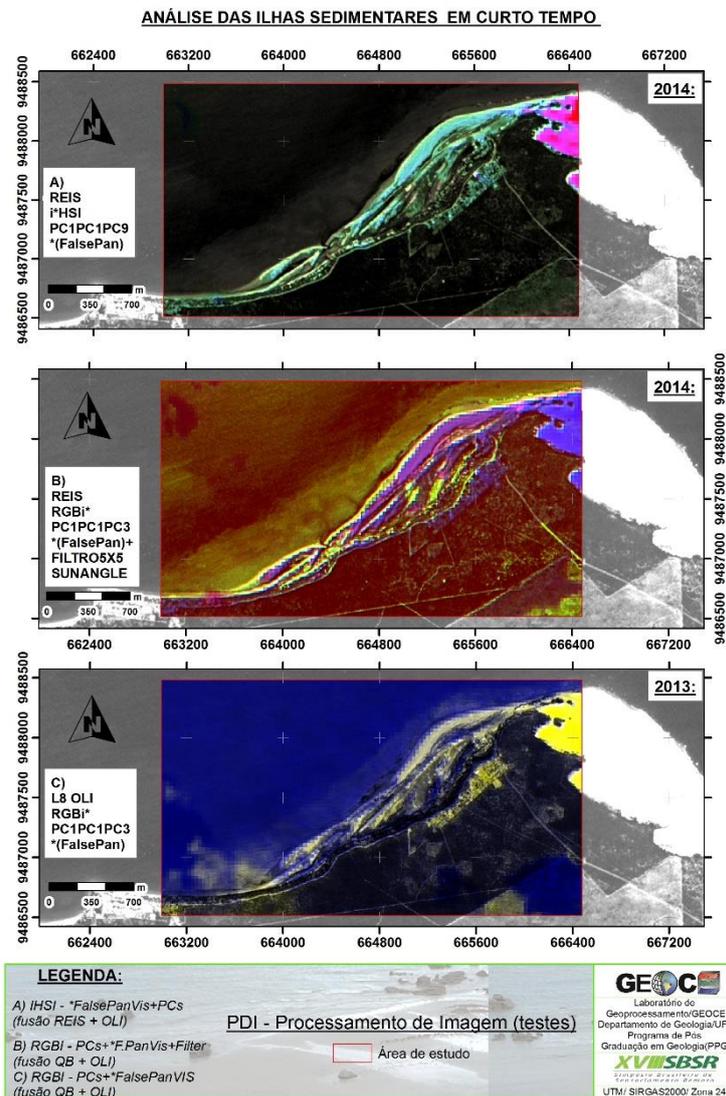


Figura 2. Composições testadas no espaço RGB e IHS. Arranjos dos tripletes integrados à banda pancromática mais imagem PC no canal do *Intensity*.

Na série histórica de curto tempo, conforme os testes sugeridos na etapa PDI, a composição selecionada para a vetorização das ilhas sedimentares (2014 e 2013) foi ISHI panPC1PC1PC9 (Figura 2A). A escolha justifica-se porque o produto imagem gerado foi o que melhor destacou as feições geoambientais na paisagem de Ponta Grossa, sobretudo os depósitos arenosos de interesse. Em seguida optou-se por realizar a vetorização com análise visual, que de maneira simples implicou em “desenhar” polígonos ao redor das ilhas sedimentares (tons verdes) delimitadas pela interface entre as áreas úmidas e secas conforme figura 2 (A e C).

#### 4. Resultados e Discussão

A cobertura sedimentar quantificada em metros quadrados em comparação com Fernandes et al (2015) novamente implicou em ganho de área. A variação na disposição espacial das ilhas ilustrou na porção sudoeste da área de estudo a abertura de canal que pode ter favorecido o aporte sedimentar. Em 7 meses, a área total de acreção foi de 139.927 m<sup>2</sup> e de erosão foi de 64.998 m<sup>2</sup> (Figura 3, Tabela 2). Souza et al (2016), exploraram a evolução das linhas de costa no trecho Ponta Grossa - Retiro Grande, utilizando métodos indiretos de

*Digital Shoreline Analysis System* (DSAS/ United States Geological Survey). Os autores observaram que a erosão em Retiro Grande deverá ser reduzida nos próximos anos em virtude da resistência das falésias ao ataque das ondas e, a conseqüente migração dos sedimentos dos bancos arenosos da região de sotamar de Ponta Grossa, dados que corroboram com o cenário de deposição.

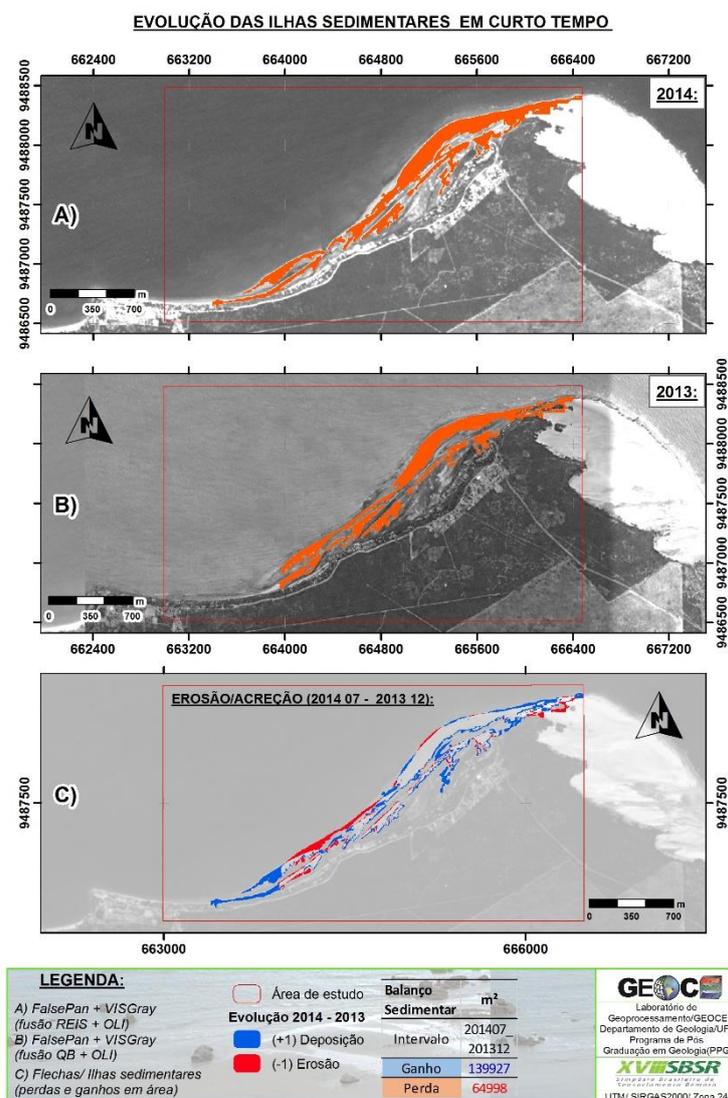


Figura 3. C) Interseção dos dados vetoriais das ilhas sedimentares vetorizadas nas imagens A e B.

Moreira et al (2014) investigaram em Ponta Grossa a dinâmica costeira da região entre os anos 1984 e 2013, e comprovaram que a variabilidade da linha de costa é alta, denotando grande instabilidade, com uma tendência de avanço do mar, caracterizando assim processos de acreção e o recuo da linha de costa em outros pontos marcados pela erosão.

Com a finalidade de manter a precisão, resolução e acurácia alta, convencionou-se nesta pesquisa, que a modelagem (MDE) estaria limitada a uma poligonal (Figura 4 A e B) representativa da área de intercessão comum a todos os levantamentos (GNSS).

A quantificação do volume em metros cúbicos apontou para um cenário de transições relativamente acentuado. Nestes estudos sobre evolução de praias arenosas considerar os fatores referentes ao acúmulo de material atual em um dado instante de tempo, são determinantes para identificar se existe relação entre os padrões dinâmicos de área (2D) e volume (3D). Entre julho de 2014 e dezembro de 2013, os resultados gerados pela modelagem

dos produtos planialtimétricos (MDEs) corresponderam ao ganho líquido em volume de 54.598 m<sup>3</sup> e a perda líquida de 1.348 m<sup>3</sup> (Figura 4 C), Tabela 2).

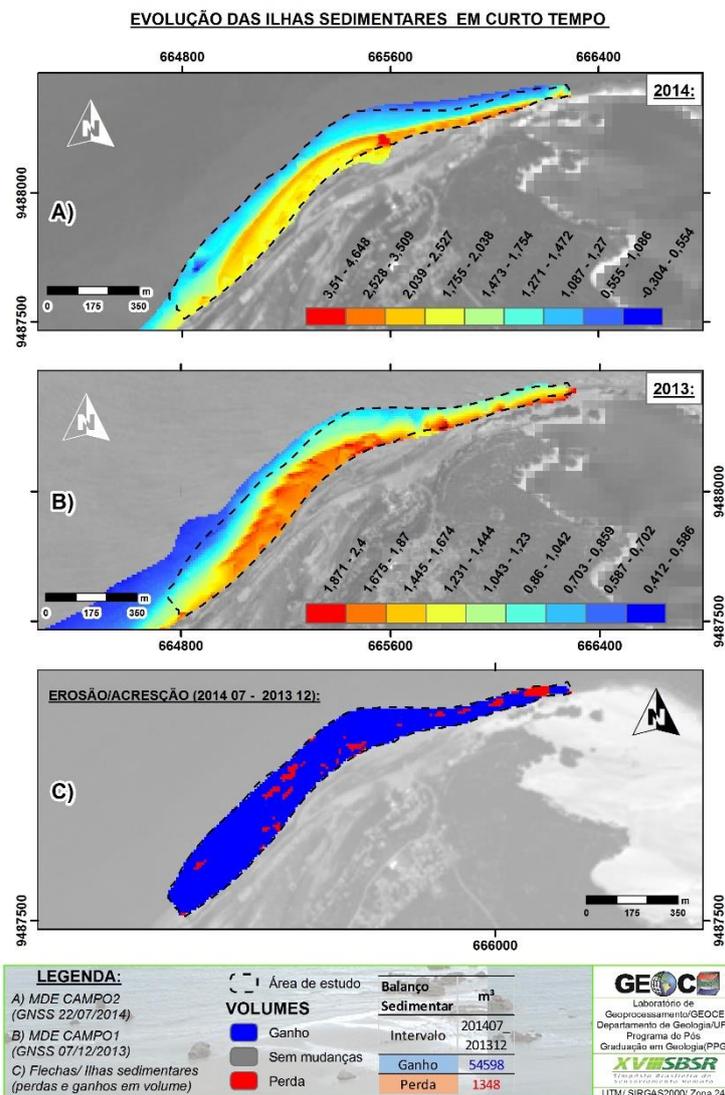


Figura 4. Linha tracejada representativa do recorte espacial da área de estudo. C) Interseção dos dados matriciais das ilhas sedimentares arenosas extraídas dos Modelos de Digitais de Elevação A e B.

Souza et al (2016) afirmam ainda que a linha de costa associada as barras arenosas a “sotamar” do promontório deverá manter o balanço sedimentar e até mesmo continuar em acreção devido ao elevado volume de sedimentos do campo de dunas sobre o promontório (*by-pass*) que aposta esse trecho do litoral.

Tabela 2. Padrões dinâmicos das ilhas arenosas em área e volume.

Balanço Sedimentar	*m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>
Intervalo	201407_ 201312	201407_ 201312
Ganho	54598	139927
Perda	1348	64998

A tabela 2 apresenta uma síntese geral entre os resultados obtidos no balanço sedimentar por meio do uso de imagens orbitais e técnicas de geodésia de precisão (\*área do levantamento comum a todos os campos/mesmo perímetro).

## 5. Considerações Finais

Em linhas gerais os resultados responderam a problemática proposta pelo objetivo geral.

Assim sendo, pode-se concluir que: i) a integração de produtos imagens resolução espacial e bandas espectrais diferentes consiste em uma eficaz ferramenta de geoprocessamento para auxiliar estudos em tempo curto; ii) a etapa do PDI forneceu imagem potencial para análise, mapeamento e quantificação das ilhas sedimentares; iii) a modelagem das diferenças entre os MDEs (2014-2013) gerou dados precisos referentes ao volume de material sedimentar quantificado; iv) tanto em área quanto em volume, a praia de Ponta Grossa, apresenta tendência atual de deposição sedimentar e, v) as causas do ganho em área e volume podem ser explicados pela mobilização de sedimentos da deriva litorânea, da abertura de um canal em 2014 e do campo de duna móvel sobreposta ao promontório rochoso.

As conclusões implicam em dados concretos que, eventualmente, podem fornecer orientação para dar subsídios as práticas de uso, ordenamento e gestão sustentável da zona costeira.

### Agradecimentos:

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará. De forma muito especial a orientadora Prof<sup>a</sup> Dr. Cynthia Romariz e ao Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Michael Vandesteen ambos do Laboratório de Geoprocessamento (GEOCE) pela estrutura e equipamentos de campo fornecidos para estudo e aplicação desta pesquisa.

### Referências Bibliográficas

- Amaro, V.E.; Santos, M.S.T.; Souto, M.V.S. 2012. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: Sensoriamento remoto e Geodésia de precisão**. Editora Natal, 118 p, 2012. ISBN 988-85-913746-0-1.
- Farias, E. G. G; Maia, M. L. P. 2010. Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. 10(4):521-544 (2010). **Journal of Integrated Coastal Zone Management**. 10(4):521-544 (2010).
- Fernandes, L. R.; Amaral, R. F. 2013. Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. **Revista Gestão Costeira Integrada**. 13(1):45-59, 2013.
- Fernandes, L. R.; Duarte, C. R.; Souto, M. V. S.; Amaro, V. E. 2015. Análise temporal em curto tempo das barras arenosas na praia de Ponta Grossa, região costeira de Icapuí/CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 5356-5362. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4DTC>>. Acesso em: 05 nov. 2016.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2015. **Informações obtidas da página do IBGE na internet**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 05 nov. 2016.
- Moreira, A.; Duarte, C.R.; Souto, M.V.S. 2014. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na análise multitemporal da linha de costa região de Icapuí/CE, entre 1984 E 2013. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.52-58, 2014. (ISSN 2237-1419).
- Oliveira, G. G.; Meireles, A. J. A. 2010. Dinâmica e geoambiental a partir da “litoralização” de Aquiraz, Ceará, Brasil. **Revista eletrônica do PRODEMA**. v. 5, n.2, p. 50-68, jun. 2010. ISSN 1982-5528.
- Souza, C.R. DE G. 2010. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Bononi, V.L.R., Santos Junior, N.A. (Org.), **Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado**, p.48-69, 2010. Instituto de Botânica – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85-7523-025-1).
- Souza, W.F.; Leite, N.S.; Meireles, A.J.A.; Silva, E.V. 2016. O uso de SIG na análise da evolução de linha de costa controlada por promontório: trecho entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, Icapuí – Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, em parceria com o V Congresso Brasileiro de Educação Ambiental Aplicada à Gestão Territorial, v. 18, n. 2, p. 20-35, Set, 2016.