



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

LUCYANNO DOS REIS FERNANDES GOMES DA COSTA

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MONITORAMENTO DA LINHA DE
COSTA E COBERTURA SEDIMENTAR NO LITORAL DE ICAPUÍ (CEARÁ)**
ENTRE 1985 E 2018

FORTALEZA

2019

LUCYANNO DOS REIS FERNANDES GOMES DA COSTA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA E
COBERTURA SEDIMENTAR NO LITORAL DE ICAPUÍ (CEARÁ) ENTRE 1985 E 2018

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Geologia.

Orientadora: Prof. Dra. Cynthia Romariz Duarte

Co-Orientador: Prof. Dr. Michael Vandesteem Silva Souto

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C873g Costa, Lucyanno dos Reis Fernandes Gomes da.
Geotecnologias aplicadas ao monitoramento da linha de costa e cobertura sedimentar no litoral de Icapuí (Ceará) entre 1985 e 2018 / Lucyanno dos Reis Fernandes Gomes da Costa. – 2019.
143 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Cynthia Romariz Duarte.
Coorientação: Prof. Dr. Michael Vandesteen Silva Souto.
1. Sensoriamento Remoto. 2. Processamento de Imagem. 3. Linha de Costa. 4. Cobertura Sedimentar.
5. Paisagem Costeira. I. Título.

CDD 551

LUCYANNO DOS REIS FERNANDES GOMES DA COSTA

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA E
COBERTURA SEDIMENTAR NO LITORAL DE ICAPUÍ (CEARÁ) ENTRE 1985 E 2018

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor em Geologia.

Aprovada em: 30 / 01 / 2019 .

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Cynthia Romariz Duarte
Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^º Dr^º George Satander Sá Freire
Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^º Dr^º Carlos Wagner Oliveira
Departamento de Agronomia, Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Prof^ª Dr^ª Lidriana de Souza Pinheiro
Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR (UFC)

Prof^º Dr^º Anderson Targino da Silva Ferreira
Programa de Mestrado em Análise Geoambiental (MAG), Universidade Garulhos (UNG)

Sempre e primeiramente a Deus em Jesus.
Minhas adoráveis filhas Maria Maitê, Maria
Cecille e a minha esposa, Yannice Santos. Aos
meus pais, Socorro Fernandes e Wallace Junior
e aos meus irmãos Lucyanna Fernandes e
Samuel Filho.

AGRADECIMENTOS

Certamente esse é o sentimento que predomina, agradecer sempre! Foram longos anos... e talvez esse seja o tópico mais complicado de ser preenchido... se enumerasse os motivos de gratidão certamente não caberiam nesse texto, por isso é uma tarefa injusta.

Então de forma muito especial primeiramente agradeço a Deus, pela vivência de muitos ensinamentos e por mostrar como ser ou me comportar em um ambiente acadêmico competitivo, repleto de aprendizado científico e humano. “De onde me virá o Socorro? Ele vem do Criador que fez os Céus e a Terra (Slm 121: 1-8).

Gratidão a Professora e amiga Cynthia Romariz e Professor Michael, estimados orientadores, pela oportunidade de doutoramento, pela orientação devida, paciência, pelas repreensões, elogios, bem como pela estrutura de campo e equipamentos de laboratório fornecidos para o estudo e aplicação desta pesquisa, e parceria com colegas de vida acadêmica.

Aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, do departamento de Geologia e aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001 (BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2018) e Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro.

Aos membros da banca examinadora, desde já, pelas preciosas contribuições. Em especial aos professores: Anderson Targino (UNG); Lidriana Pereira (Labomar/UFC), Carlos Wagner (UFCA), George Satander (UFC). Verdadeiramente, muito obrigado por aceitarem o convite.

As novas amizades surgidas com a mudança para o Ceará... talvez eles nem saibam, mas foram importantes para que o enfado e a cansaça fossem superados.

Por fim, Gratidão a família... minha Mainha “*Help*”, meus irmãos Lucyanna e Samuel, meus tios Severino e Adilson, a Dona Leo minha sogra sorridente. Leleco sinta-se homenageado, você também é parceiro nessa jornada! E como agora tem mais gente no pedaço: obrigado a Maria Maitê e a Maria Cecille, as jainhas do relicário do papai e da mamãe. E com um carinho particularmente especial, agradeço a excelentíssima esposa Yannice Santos (mãe das minhas filhas, amiga, companheira e parceira), talvez você seja a pessoa apropriada para fazer uma leitura racional do “lado de fora do campo” dos méritos e deméritos, das prioridades, que necessariamente foram vividas para finalmente conceber esse novo “filho” chamado Tese.

Continue, não desista... Keep going don't quit ... (Facing the Giants, 2006).
Qual a maior mentira que te contaram? Não é tão fácil (...), as pessoas falam isso
para te fazerem desistir (Vinny Pazienza, Bleed for This, 2016).
A imaginação é mais importante que o conhecimento (Albert Einstein)

RESUMO

Áreas costeiras podem ser consideradas como indicadores geológicos e ambientais por representarem regiões de alta sensibilidade às modificações no curto tempo e escala fina. Para monitorar essas mudanças as geotecnologias dispõem de produtos, ferramentas e técnicas que conseguem calcular as taxas de deposição e erosão por meio da quantificação de áreas e volumes. A área de estudo está situada no extremo leste do litoral cearense, localizada na praia de Ponta Grossa, no município de Icapuí/CE, onde os processos costeiros atuam na construção e desconstrução de feições sedimentares, que modificam a forma da linha de costa em curtos intervalos de tempo. Além disso, a praia de Ponta Grossa vem sendo cada vez mais ocupada, em sua faixa litorânea, pela população local com algumas edificações populares de médio e pequeno porte. O objetivo geral da pesquisa é analisar a cobertura sedimentar em Icapuí Ceará, com o uso de Geodésia de precisão e produtos de sensoriamento remoto em tempo longo, médio e curto; e escala pequena, intermediária e fina. A metodologia aplicada neste trabalho foi dividida em: a) análise de linha de costa entre 1985 e 2015; mapeamento da cobertura sedimentar entre 2012 e 2015, edição dos Modelos de Elevação do Terreno (MDE) para quantificação da cobertura sedimentar em volume entre 2013 e 2018. GPS Geodésico de alta precisão foi usado para os levantamentos Topográficos na praia e os procedimentos aplicados para realce e mapeamento da cobertura sedimentar foram; Fusão de imagens; Realce de Contraste, Aplicação de Filtros, Análise de Principais Componentes (PCAs), Testes em composições coloridas (RGB e HSI); integração multisensores e modelagem 3D. Quanto aos resultados obteve-se: entre 1985 e 2015 - Balanço sedimentar positivo para a variação das linhas de costa total e setorizada, entre 2013 e 2018, balanço sedimentar global positivo, com ganhos volumétricos superiores as perdas provocadas pela erosão; entre 2015 e 2018 com balanço sedimentar final também positivo, com ganho em área em torno de 171053m². Por fim, de acordo com os resultados alcançados, corroborando com a hipótese testada, conclui-se que na região estudada predominaram processos de deposição ao invés da erosão, especialmente no setor leste de Icapuí, especificamente na Praia de Ponta Grossa.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Processamento de Imagem. Linha de Costa. Cobertura Sedimentar. Paisagem Costeira.

ABSTRACT

Coastal areas can be considered as geological and environmental indicators because they represent regions of high sensitivity to changes in short time and fine scale. To monitor these changes, geotechnology has products, tools and techniques that can calculate deposition and erosion rates, quantifying areas and volumes. The study area is located on the eastern coast of Ceará, located on the beach of Ponta Grossa, in the municipality of Icapuí / CE, where coastal processes are involved in the construction and deconstruction of sedimentary features that modify the geometry of the coast in long intervals of time, medium and short. In addition, the beach of Ponta Grossa has been increasingly occupied in its coastal strip by the local population, with some popular constructions of medium and small size. The general objective of the academic thesis is to analyze the sedimentary cover in Icapuí-Ceará, with the use of precision geodesy and remote sensing products in long, medium and short time; and small, intermediate and fine scale. The methodology applied in this work was divided into: a) coastal analysis between 1985 and 2015; b) mapping the sedimentary cover between 2012 and 2015, c) edition of the Land Elevation Models (MDE) to quantify the sedimentary coverage in volume between 2013 and 2018. The High Precision Geodetic GPS was used to perform the topographic surveys on the beach and the procedures applied for the highlighting and mapping of the sedimentary cover were; Fusion of images; Contrast Enhancement, Filter Application, Principal Component Analysis (PCAs), Composite Color Test (RGB and HSI); multi-sensor integration and 3D modeling. The results obtained were: between 1985 and 2015 - Positive sediment balance for the total and sectoral coastline variation; between 2015 and 2018 with a final positive balance, with gain in the area of 171053 m²; between 2013 and 2018, a positive global sediment balance, with volumetric gains greater than erosion losses. Finally, according to the results obtained, corroborating with the hypotheses tested, it is concluded that, in the region studied, deposition processes predominated to the detriment of erosion, especially in the east sector of Icapuí, specifically in Ponta Grossa beach.

Keywords: Remote Sensing. Image Processing. Coast Line. Sedimentary Coverage. Coastal Landscape.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Poligonal preta com destaque para a zona costeira onde foi realizada a análise de Linha de Costa por setores. Polígono amarelo indicando a localização da praia de Ponta Grossa, no município de Icapuí estado do Ceará 28
- Figura 2 – Representação dos limites das áreas de estudo multitempo-espço. Setor 1 (Oeste), 2 (Central) e 3 (Leste) para análise de Linha de Costa. Destaque para algumas feições Geoambientais mapeadas segundo uso e cobertura 30
- Figura 3 – Fluxograma metodológico: Faze 1, 2, 3 e 4. Desde os campos executados até o processamento dos dados (vetoriais e matriciais) para edição das cartas temáticas 41
- Figura 4 – Representação dos limites das áreas de estudo. Setor 1,2 e 3 para análise de Linha de Costa total (poligonal preta) setorizada (polígonos vermelho, verde e azul) 43
- Figura 5 – Representação dos limites das áreas de estudo para análise de Linha de Costa total (poligonal preta) setorizada. Imagem produto NDWI 2015 44
- Figura 6 – Representação esquemática da etapa da classificação dos produtos NDWI, recorte da zona submersa e extração do continente para análise de Linha de Costa total (polígono preto número 5) setorizada. Imagem produto NDWI 2015 45
- Figura 7 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Escala de mapeamento pontual: destaque para o polígono amarelo da área piloto – imagem em tons de cinza (OLI, 2015) 47
- Figura 8 – Imagem RapidEye/ 2012 06 06 REIS RGB 321 (Visível). Destaque para o polígono vermelho da área piloto 54
- Figura 9 – Imagem RapidEye. 2014 07 20 REIS VISGRAY (falsepan). Destaque para o polígono vermelho da área piloto 54

Figura 10 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Escala de mapeamento local: destaque para o polígono amarelo da área Pontual – imagem em tons de cinza (OLI, 2015)	58
Figura 11 – Poligonais coloridas conforme perímetro percorrido em cada campo segundo levantamentos planialtimétricos	59
Figura 12 – Poligonal (preta) representativa da intersecção entre todos os campos. Perímetro usado para calcular o volume de sedimentos	59
Figura 13 – Marco de concreto (60x40x20 cm) implantado na Praia. Base PG001 (E665.157/ N9.487.506)	60
Figura 14 – A) Base: configuração do equipamento (coletora) para realizar o levantamento. B) Rover: início do rastreamento - caminhamento sobre as superfícies de praia para mapeamento das feições sedimentares	61
Figura 15 – Movimento longitudinal em “z” (zig-zag) para identificação das morfologias sedimentares. Respectivamente: A) campo 1; B) campo 2; C) campo 3; D) campo 4; E) campo 5	62
Figura 16 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Análise de linha de costa pelos Setores 1; 2; 3 e Total: Edição das cartas deposição erosão da costa de Icapuí/CE. Imagem em tons de cinza (OLI, 2015)	67
Figura 17 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Total (limite municipal Icapuí/CE): Respectivamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acresção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo	69
Figura 18 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Setor Leste (3): Respectivamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acresção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo	71

Figura 19 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Setor Central (2): Respectivamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acresção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo	73
Figura 20 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Setor Oeste (1): Respectivamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acresção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo	76
Figura 21 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Localização da área piloto (retângulo amarelo) para mapeamento das feições sedimentares da região costeira em Icapuí/CE. Imagem em tons de cinza (OLI, 2015)	81
Figura 22 – Resultado da Aplicação de técnicas de PDI. Falsa pancromática região do visível em tons de cinza. A) VISGRAY 2012; B) VISGRAY 2013; C) VISGRAY 2014; D) VISGRAY 2015. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha ilustra a área de estudo para realce das feições sedimentares	83
Figura 23 – Teste com imagem em tons de cinza antes da integração com os produtos multiespectrais. 2013 12 23 DGQB VISGRAY (falsepan). Polígono vermelho representativo da área de estudo com uso de imagens de sensoriamento remoto	87
Figura 24 – Resultado do Teste com imagem em tons de cinza após integração com os produtos multiespectrais. 2013 08 06 RGBI PC1 PC2 PC3 falsepan (fusão OLI + Digital Globe). Polígono vermelho representativo da área de estudo com uso de imagens de s. remoto	88

- Figura 25 – Resultado da Aplicação de técnicas de PDI. Integração dos produtos multiespectrais com imagens falsa pancromáticas associadas. A) REIS/2012; B) QUICKBIRD/DG/2013; C) REIS/2014; D) MUX/2015. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha ilustra a área de estudo para realce das feições sedimentares 92
- Figura 26 – Resultado do Mapeamento da cobertura sedimentar em série histórica de 2012 a 2015. Modelo pertinente a quantificação de áreas (m²) para os anos A) 201206; B) 201312; C) 201407 e D) 201505. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha delimita a área de estudo para realce das feições sedimentares 96
- Figura 27 – Resultado do Mapeamento da cobertura sedimentar em série histórica de 2012 a 2015. Modelo pertinente a diferença entre áreas (m²/erosão/deposição) dos intervalos parciais: A) 201312 e 201407; B) 201407 e 201411; C) 201411 e 201505; e diferença global 201312 e 201505. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha delimita a área de estudo para realce das feições sedimentares 97
- Figura 28 – Modelo Digital de Terreno pertinente aos quatro levantamentos de campo na Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE – A) Dezembro de 2013; B) Julho de 2014; C) Novembro de 2014; D) Maio de 2015 e E) Maio de 2018. Os mapas apresentam os valores das altitudes ortométricas seguindo um gradiente de cores. Tom azul/ciano fazem referência aos baixos topográficos e os altos são representados pela cor vermelha/laranja. A poligonal tracejada de cor preta ilustra a área comum coberta por todos os levantamentos, ou seja, a intersecção entre todos os campos 102
- Figura 29 – Modelo pertinente as diferenças volumétricas (MDE) parciais entre as datas A) Dez/2013 e Jul/2014; B) Jul/2014 e Nov/2014; C) Nov/2014 e Mai/2015; D) Dez/2013 e Mai/2015 E) Mai/2015 e Mai/2018 e F) diferença global Dez/2013 e Mai/2018 na Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal tracejada de cor preta ilustra a área comum coberta por todos os levantamentos (área total) 104

Figura 30 – Modelo pertinente as diferenças volumétricas (MDE) parciais entre as datas A) Dez/2013 e Jul/2014; B) Jul/2014 e Nov/2014; C) Nov/2014 e Mai/2015; D) Dez/2013 e Mai/2015 E) Mai/2015 e Mai/2018 e F) diferença global Dez/2013 e Mai/2018 na Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal tracejada de cor preta ilustra a área comum coberta por todos os levantamentos (área piloto)	105
Figura 31 – Wavewatch3 (WW3): recorte da janela espacial em cor azul claro para análise dos parâmetros altura significativa, direção e período significativo de ondas. Adaptado de Andrade; Oliveira-Sousa; Siegle (2018)	115
Figura 32 – Etapa de campo 1, realizada em 07/12/2013. A) Rastreamento de marcos do IBGE (RN: referências de nível); B) Aspecto geoambiental: superfícies alagadiças dispostas ao longo do trecho de praia	136
Figura 33 – A) campo 2: rastreio das feições de praia com GPS geodésico (<i>rover</i> – caminhada em <i>zig-zag</i>); B) Aspecto geoambiental: presença de muitas algas sobre as coberturas sedimentares	136
Figura 34 – A) campo 3: levantamento sobre interface da zona molhada na faixa de praia; B) aspecto geoambiental: sobre duna vegetada ocupação tradicional de apoio à pesca encontrada na área de estudo	137
Figura 35 – A) campo 4: levantamento (coletora); B) aspecto metodológico: marco geodésico em plenas condições para monitoramento contínuo	137
Figura 36 – Aspectos geoambientais da área observados em dezembro de 2013. A) Setor final da barra arenosa: sedimentos cobertos por vegetação pioneira de porte herbáceo. B) Zonas alagadiças adjacentes as feições sedimentares	138
Figura 37 – Aspectos geoambientais da área observados em julho de 2014. A) Setor intermediário da barra arenosa: estirâncio largo, faixa de praia extensa e bem marcada. B) Escorregamento de sedimentos da duna móvel sobre falésias do promontório rochoso. Presença de algas na praia	139
Figura 38 – Aspectos geoambientais da área observados em novembro de 2014. A) Parte final do levantamento: no sentido mar a dentro, a barra arenosa cresceu, contudo longitudinalmente (NE-SE) parecia ter encurtado. B) Cobertura arenosa sob vegetação pioneira evidentes “ <i>in situ</i> ”	140

- Figura 39 – Aspectos geoambientais da área observados em maio de 2015. A) Término do levantamento, havendo indícios de deposição sedimentar na parte final da barra arenosa (NE-SE). “A olho nu”, neste setor pode ter havido crescimento em área. B) Forte presença de algas distribuídas ao longo de toda LC monitorada 141
- Figura 40 – Aspectos geoambientais da área observados em maio de 2018. A) Regiões interlagunares localizadas na região do pós-praia anteposta a barra arenosa “*in situ*” B) Visão panorâmica da mancha urbana no litoral de Icapuí 142

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Gráficos do Resumo da quantificação de volume em percentual. Respectivamente: A) volume da área total; B) volume da área piloto; C) área total; D) área piloto. Respectivamente, C1/C2; C2/C3; C3/C4; C1/C4; C4/C5 e C1/C5 correspondem aos intervalos temporais entre Dez/2013 e Jul/2014; Jul/2014 e Nov/2014; Nov/2014 e Mai/2015; Dez/2013 e Mai/2015; Mai/2015 e Mai/2018 e Dez/2013 e Mai/2018 116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Produtos da plataforma Landsat adquiridos para análise de Linha de Costa entre 1985 e 2015. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000 ..	43
Tabela 2	– Produtos de sensores remotos utilizados relativos a análise de LC tempo longo, conforme data de aquisição. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000	49
Tabela 3	– Imagens utilizadas em intervalo de tempo curto. Período de aquisição e respectivas datas das campanhas de campo/GNSS. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000	49
Tabela 4	– Produtos “ <i>multilayers</i> ” resultado das fusões de bandas (merge), período de aquisição e respectivas datas das campanhas de campo/GNSS. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000	51
Tabela 5	– Balanço sedimentar final por intervalo de tempo e por setores da Linha de Costa em função da quantificação em metros (m ²) das áreas de erosão e acresção sedimentar	78
Tabela 6	– Matriz de correlação entre as Bandas do sensor OLI (2013)	85
Tabela 7	– Contribuição das Principais Componentes entre as Bandas do sensor OLI (2013). Para os valores negativos, considerar o módulo do número	85
Tabela 8	– Matriz de correlação entre as Bandas do sensor OLI (2014)	85
Tabela 9	– Contribuição das Principais Componentes entre as Bandas do sensor OLI (2014). Para os valores negativos, considerar o módulo do número	85
Tabela 10	– Matriz de correlação entre as Bandas do sensor OLI (2015)	86
Tabela 11	– Contribuição das Principais Componentes entre as Bandas do sensor OLI (2015). Para os valores negativos, considerar o módulo do número	86
Tabela 12	– Área total da Cobertura sedimentar quantificada em metros quadrados conforme ano; intervalo em meses e data de aquisição	93
Tabela 13	– Evolução da cobertura sedimentar quantificada em metros quadrados	95

Tabela 14 – Quantificação do volume e perímetro: área total e recorte da área comum a todos os campos	103
Tabela 15 – Balanço sedimentar final em volume (m ³) e área (m ²) para todo intervalo de tempo estudado (dezembro de 2013 e maio de 2018) segundo perímetro da área total. Visitas de campo: Intervalos C1, C2, C3, C4, C5 e C6	106
Tabela 16 – Balanço sedimentar final em volume (m ³) e área (m ²) para todo intervalo de tempo estudado (dezembro de 2013 e maio de 2018) segundo recorte da janela piloto. Visitas de campo: Intervalos C1, C2, C3, C4, C5 e C6	107
Tabela 17 – Monitoramento da dinâmica sedimentar (m ³ e m ²) em função dos intervalos dos ciclos construtivos e destrutivos segundo anos e meses (modificado de SANTOS <i>et al.</i> , 2012)	113
Tabela 18 – Wavewatch3 (WW3): valores mínimos, médios e máximos para análise dos parâmetros altura significativa, direção e período significativo de ondas	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Datas das atividades de campo conforme intervalo de tempo em meses	59
Quadro 2 – Resumo das atividades metodológicas aplicas a etapa do GNSS	66
Quadro 3 – Variação de temperatura em função dos eventos de El Nino e La nina. Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA)	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Área Piloto
AT	Área Total
CBERS	China-Brazil Earth-Resources Satellite
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
DG	Digital Globe
EMI	Multivariado <i>El Nino</i> Oscilação Sul
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
FUNCAP	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GEOCE	Laboratório de Geoprocessamento do Ceará
GNSS	Global Navigation Satellite System
HSI	Hue Saturation Intensity
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Km	Kilometros
LABOMAR	Instituto de Ciências do Mar
LC	Linha de Costa
m	metros
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MUX	Multispectral Camera
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NDWI	Normalized Difference Water Index
NM	Nível do Mar
NMM	Nível Médio do Mar
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI	Operational Land Imager
ONI	Índice Oceânico <i>Niño</i>
PC	Principais componentes
REIS	RapidEye Earth Imaging System
RGB	Red Green Blue

RN	Referencial de Nível
S1	Setor 1
S2	Setor 2
S3	Setor 3
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
SIBI	Sistema Integrado de Bibliotecas
TM	Thematic Mapper
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCA	Universidade Estadual do Cariri
UFRN	Universidade Estadual do Rio Grande do Norte
USGS	United States Geological Survey
UTM	Unidade Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLO

% Porcentagem

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	24
1.1	Introdução	24
1.2	Hipótese	25
1.3	Objetivo Geral	26
1.4	Objetivos Específicos	26
2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
2.1	Considerações Gerais	27
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
3.1	Monitoramento Costeiro	31
3.2	Estudos para o monitoramento da cobertura sedimentar e linha de costa ..	33
3.3	Geotecnologias para monitoramento costeiro	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1	Análise da Linha de Costa (LC) para o município de Icapuí (CE) entre 1985 e 2015	42
4.1.1	<i>Recorte espacial: Setores de Estudo</i>	42
4.1.2	<i>Separação das Zonas Emersa e Submersa através de Sensoriamento Remoto</i>	44
4.1.3	<i>Classificação Terra e Água</i>	45
4.1.4	<i>Vetorização de Linha de Costa Total e por Setores</i>	46
4.2	Sensoriamento remoto para análise da cobertura sedimentar em série histórica entre 2012 e 2015	47
4.2.1	<i>Recorte espacial: área de estudo</i>	47
4.2.2	<i>Aquisição de base cartográfica e produtos imagem</i>	48
4.2.3	<i>Pré-Processamento</i>	50
4.2.4	<i>Processamento de imagens digitais (PDI)</i>	52
4.2.5	<i>Composições coloridas testadas</i>	53
4.2.5.1	<i>Fusão OLI/QB/2013 arranjo i*HSI PC1PC4PC7 *(FalsePan)</i>	55
4.2.5.2	<i>Título da seção quaternária Fusão OLI/REIS/2014 arranjo RGBi* PC1PC2PC3 *(FalsePan)</i>	55
4.2.5.3	<i>Fusão OLI/MUX/2015 arranjo i*HSI PC3PC2PC1 *(FalsePan)</i>	55
4.2.6	Quantificação das coberturas sedimentares em função das áreas de erosão e acreção	55

4.3	Geodésia de precisão aplicada para quantificação (volume) e análise da dinâmica sedimentar entre 2013 e 2018	58
4.3.1	<i>Recorte espacial: Áreas de Estudo</i>	58
4.3.2	<i>Marco geodésico – implantação e rastreamento das Referências de Nível</i>	60
4.3.3	<i>Aquisição de dados geodésicos</i>	61
4.3.4	<i>Processamento dos dados geodésicos</i>	63
4.3.5	<i>Relatório de levantamento</i>	64
4.3.6	<i>Monitoramento da cobertura sedimentar e edição dos Modelos Digitais de Terreno</i>	65
4.3.7	<i>Quantificação dos volumes (m³) – ganhos e perdas</i>	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
5.1	Análise da Linha de Costa (LC) para o município de Icapuí (CE) entre 1985 e 2015	67
5.1.1	<i>Recorte espacial: Setores de Estudo</i>	67
5.1.2	<i>Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada</i>	68
5.1.2.1	<i>Análise de Linha de Costa Total (Icapuí)</i>	68
5.1.2.2	<i>Análise de Linha de Costa setor Leste (3)</i>	70
5.1.2.3	<i>Análise de Linha de Costa setor Central (2)</i>	72
5.1.2.4	<i>Análise de Linha de Costa setor Oeste (1)</i>	74
5.1.3	<i>Quantificação das áreas de acrescerão e erosão da cobertura sedimentar superficial (LC Total e LC Setorizada)</i>	77
5.2	Sensoriamento remoto para quantificação (área) e análise da dinâmica sedimentar entre 2012 e 2015	81
5.2.1	<i>Recorte espacial: Setores de Estudo</i>	81
5.2.2	<i>Produtos cartográficos potenciais</i>	82
5.2.3	<i>Produtos falsapan – imagens VISGRAY</i>	82
5.2.4	<i>Matrizes de correlação – Análise principais componentes (PCA)</i>	84
5.2.5	<i>Produtos integrados – fusão de imagens</i>	87
5.2.6	<i>Produtos das Composições coloridas – Discriminação de sedimentos</i>	88
5.2.6.1	<i>Produto RapidEye/REIS/2012, RG B321</i>	88
5.2.6.2	<i>Fusão OLI/QB/2013 arranjo *iHSI PC1PC4PC7 *(FalsePan)</i>	89
5.2.6.3	<i>Fusão OLI/REIS/2014 arranjo RGB*i PC1PC2PC3 *(FalsePan)</i>	90
5.2.6.4	<i>Fusão OLI/MUX/2015 arranjo *iHSI PC3PC2PC1 *(FalsePan)</i>	91

5.2.7	<i>Mapeamento, Quantificação e Diferenças na cobertura sedimentar em área (m²)</i>	93
5.3	Geodésia de precisão para quantificação (volume) e análise da dinâmica sedimentar entre 2013 e 2018	99
5.3.1	<i>Recorte espacial: Área de Estudo</i>	99
5.3.2	<i>Modelos Digitais de Elevação</i>	99
5.3.3	<i>Evolução, mapeamento e quantificação da superfície sedimentar em volume</i>	100
5.3.4	<i>Diferenças espaço-temporais das coberturas sedimentares: erosão e acreção</i>	103
5.3.4.1	<i>Evolução das diferenças volumétricas para Área Total (AT)</i>	108
5.3.4.2	<i>Evolução das diferenças volumétricas para Área Piloto (AP)</i>	111
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
6.1	Conclusões	118
6.2	Recomendações	120
	REFERÊNCIAS	121
	APÊNDICE A – ONI INDEX (EL NIÑO - LA NIÑA)	131
	APÊNDICE B – ALGUNS COMANDOS DO ARCGIS; ENVI E GNSS SOLUTIONS	134
	APÊNDICE C – RELATÓRIO DE CAMPO (VISITAS PARA LEVANTAMENTO COM GPS DE PRECISÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS)	135
	APÊNDICE D – ASPECTOS GERAIS E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO NA PRAIA DE PONTA GROSSA	138
	APÊNDICE E – MENSAGEM	143

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

Os espaços litorâneos são considerados ambientes dinâmicos e bastante complexos, 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 (MEIRELES *et al.*, 2005; MEIRELES; SANTOS, 2012).

A erosão costeira, para Souza (2016), 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; 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.

Conclusões acerca do crescimento da ocupação territorial na costa e erosão são relatados por diversos autores, tais como Farias e Maia (2010), Oliveira; Meireles (2010), Marino; Freire (2013), Ximenes *et al.* (2013), Paula; Dias; Farrapeira (2013), Mororó *et al.* (2015), Souza *et al.* (2016), Medeiros *et al.* (2014) e Medeiros; Maia; Araújo (2016).

Seguindo a mesma tendência, no litoral de Icapuí, no extremo nordeste do Estado do Ceará, diferentes agentes costeiros vêm atuando na interface continente-oceano, maximizando ou diminuindo a quantidade de sedimentos que chega a praia. Geralmente, são processos que promovem forte transporte de partículas arenosas pela ação dos ventos, intensificados pela deriva litorânea, conseqüentemente criando um cenário histórico recente de

déficit sedimentar (AMARO; SANTOS; SOUTO, 2012).

Semelhante ao que é visto no litoral oriental do Rio Grande do Norte, as perdas de cobertura sedimentar, principalmente em depósitos litorâneos e eólicos representam padrões comuns no que se refere a evolução da paisagem costeira. Muito embora, este também seja um panorama negativo comum a praticamente todo litoral cearense, especificamente, na praia de Ponta Grossa, a situação em relação a perda de cobertura sedimentar, não é a mesma (FERNANDES; 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*) pode preencher algumas destas lacunas fornecendo dados precisos em função das perdas e ganhos de área e volume.

As técnicas de tratamento de imagens produtos de sensores remotos representam no contexto contemporâneo uma ferramenta imprescindível para o monitoramento da dinâmica costeira, por meio da comparação multitemporal (ROSSETI, 2008).

A identificação das transformações na paisagem costeira para o município de Icapuí (CE) implica em conectar e associar os padrões espaciais apresentados com os processos oceanográficos físicos norteadores das modificações temporais. É pertinente para os tomadores de decisões avaliarem as informações geradas a partir destas pesquisas associadas à proporção das mudanças espaciais em séries temporais.

1.2 Hipótese

Apesar do avanço dos processos erosivos ao longo dos últimos anos, a zona litorânea do município de Icapuí apresenta um litoral “resiliente” às perdas sedimentares. Todavia, diante de um sugestivo cenário positivo de ganho em área e volume, a topografia praias suave em alguns setores, a variação histórica da linha de costa, aliada ao avanço desordenado das ocupações antrópicas sobre o litoral, atuam diretamente no desequilíbrio do balanço sedimentar regional e local.

A metodologia usada para associar imagens de múltiplas plataformas de sensores diferentes configura uma técnica eficaz para integração de dados espectrais e espaciais em escala fina, bem como para o adequado realce de coberturas arenosas e/ou sedimentares.

1.3 Objetivo Geral

Analisar as variações de Linha de Costa por setores; a Evolução da Cobertura Sedimentar local e o Balanço Sedimentar pontual; a partir do emprego de técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto e geodésia de precisão em múltiplas escalas de tempo e espaço.

1.4 Objetivos Específicos

- Analisar a variação de Linha de Costa com uso produtos de sensoriamento remoto orbital em escala média e tempo longo;
- Analisar, mapear e quantificar a superfície sedimentar e respectivas diferenças temporais em área e volume;
- Identificar possíveis cenários erosivos ou deposicionais em função dos ganhos e perdas volumétricas e acresção e redução de área;
- Analisar se o mapeamento e quantificação realizados, tanto em área como em volume, sugerem cenários deposicionais semelhantes ou diferentes.

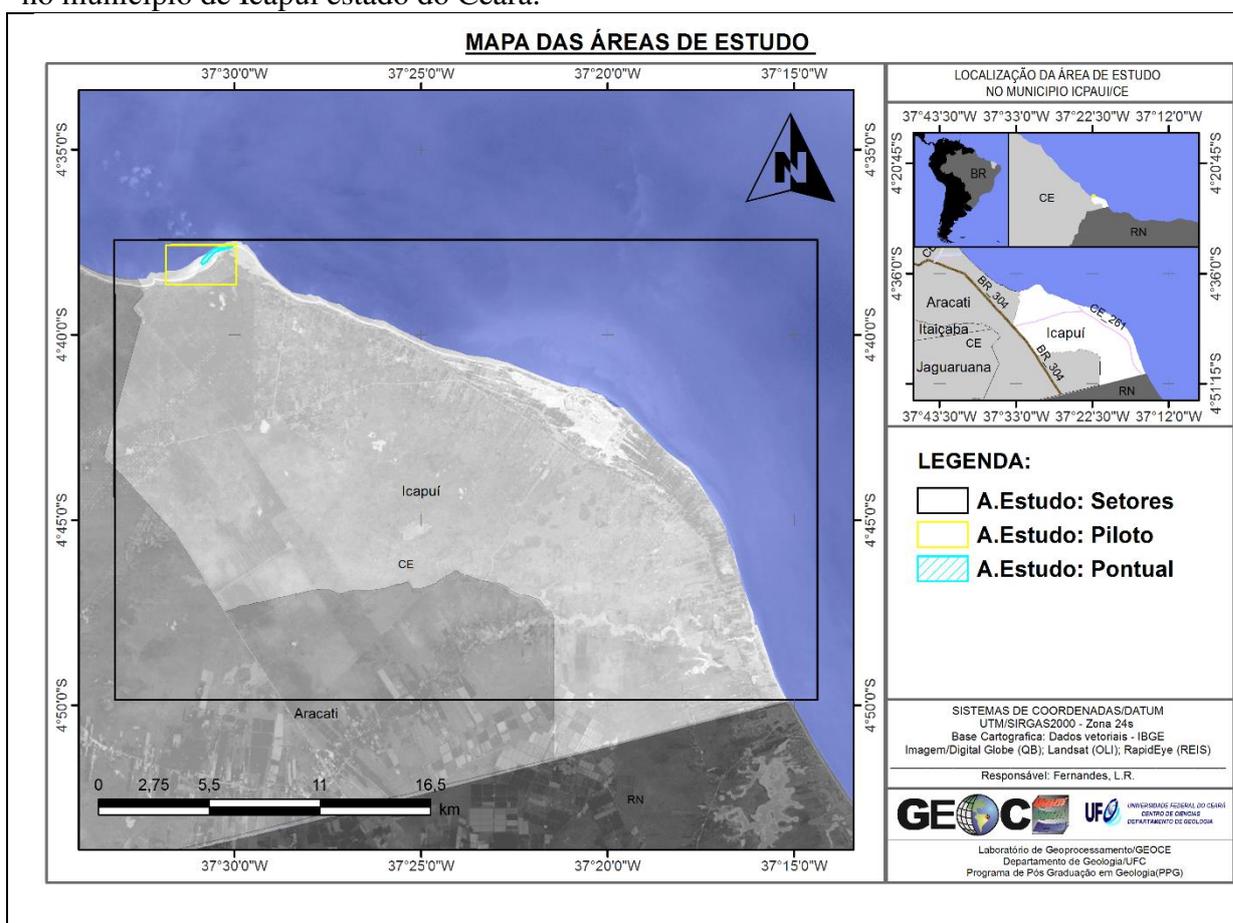
2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Considerações Gerais

Icapuí em tupi significa “Coisa Ligeira”. O município foi desmembrado de Aracati em 1985 e, além da sede, tem mais dois distritos Ibicuitaba e Manibu ambos criados em 1951. Situa-se no extremo leste do litoral cearense tendo como limites: Norte: Oceano Atlântico, Sul: Aracati e estado do Rio Grande do Norte, Leste: Oceano Atlântico, Oeste: Aracati (CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE, 2012) (Figura 1). Demograficamente, Icapuí possui aproximadamente área 430 (km²), população com 18.392 habitantes e densidade demográfica de 37,38 (hab/km²) no Censo de 2010, com crescimento desde 1991 (13.661 habitantes) e 2000 (16.052 habitantes) (CEARÁ. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE, 2017).

Desta forma pode-se observar três áreas de estudo distintas: a primeira, regional; associada a análise de Linha de Costa integral e setorizada (Figura 1), a segunda; piloto (local); pertinente ao mapeamento das feições sedimentares da Praia de ponta Grossa (Figura 1) e a terceira; pontual, reserva aos levantamentos planialtimétricos da mesma praia (Figura 1). A importância da análise em múltiplas escalas de tempo e espaço podem ser justificadas pela necessidade de observação dos padrões de deposição das feições sedimentares ao longo de todo litoral são as mesmas por setores, por área e por volume. Desta forma, ao que parece, a manifestação dos processos costeiros que determinam os arranjos espaciais deposicionais tendem a ser diferentes da menor para a maior escala espaço-temporal (MEIRELES; SANTOS, 2012; ODUM; BARRET, 2007).

Figura 1 – Poligonal preta com destaque para a zona costeira onde foi realizada a análise de Linha de Costa por setores. Polígono amarelo indicando a localização da praia de Ponta Grossa, no município de Icapuí estado do Ceará.



Fonte: O autor.

Geologicamente, está inserido nas margens da Bacia Potiguar, que é largamente explorada pelas atividades da indústria petrolífera tanto em terra (*onshore*) como em mar (*offshore*). A vegetação está enquadrada dentro do complexo vegetacional da zona litorânea, sendo formado geomorfologicamente por uma planície litorânea com praias, falésias e dunas, e os tabuleiros pré-litorâneos esculpidos nos sedimentos da Formação Barreiras. A região tem praia de perfil dissipativo, caracterizando-se pela presença do estuário de Barra Grande e de um sistema progradante formado por cordões litorâneos, depósitos fluviais e lagunares, dunas e manguezais (MEIRELES; MORAIS; FREIRE, 1990; MEIRELES *et al.*, 2005; MEIRELES; SANTOS, 2012) e está sujeito a processos de contínua erosão e progradação na linha de praia. Ainda sobre a Geologia é importante destacar os principais depósitos que compõem o mosaico heterogêneo da paisagem costeira estudada, são eles: Depósitos Eólicos, Depósitos Marinhos Praiais, Depósitos da Formação Barreiras, Depósitos Aluviais, Depósitos Fluviolacustres, Depósitos Lacustres e Depósitos Lagunares (CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE, 2016).

Como os objetivos gerais e específicos estão atrelados sobretudo à análise da cobertura arenosa desprovida de vegetação serão detalhados apenas aqueles depósitos associados diretamente ao alvo de interesse. São eles:

A) Depósitos Eólicos: são sedimentos areno-quartzosos, movidos pela competência dos ventos e geralmente recobrem os depósitos da Formação Barreiras. As feições mais comuns são as Dunas Frontais; Móveis; Fixas (Vegetadas); Semifixas e as Bacias de Deflação interdunares. B) Depósitos Marinhos Praiais: São sedimentos arenosos de origem marinha, com grãos de quartzo subarredondados. Movidos pela ação eólica, atuam diretamente no balanço sedimentar pelo aporte constante de sedimentos de origem marinha e pelo transporte das correntes litorâneas da deriva litorânea. C) Formação Barreiras: são depósitos de cobertura extensa e geometria variável dispostos ao longo de toda LC de Icapuí (CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE, 2016). São importantes por darem origem as Falésias e principalmente pela contribuição sedimentar que pode ocorrer devido a ação dos ventos, ondas e marés. Em alguns casos, dependendo da idade, pode ser encontrado na sua forma intemperizada e destacam-se na paisagem por apresentarem variações de cor na tonalidade de vermelha a amarela (MARINO *et al.*, 2016).

Os depósitos mencionados devido a sua composição e estrutura química específicos são facilmente detectados pelos sensores das plataformas orbitais. A assinatura espectral destes alvos possibilita através das técnicas de processamento um realce acurado.

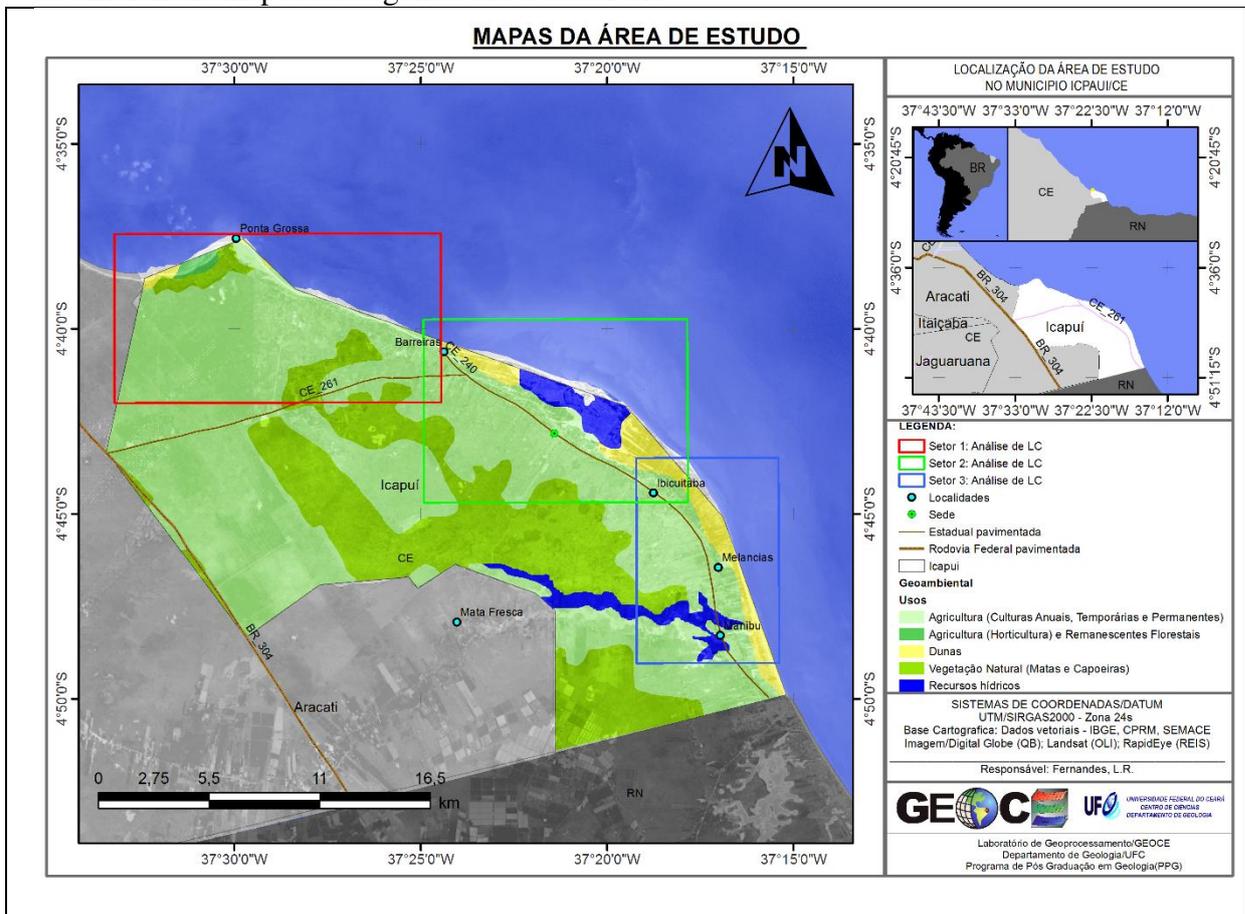
A gênese de uma praia, pode ser explicada pelos processos de variação do nível do mar; deslocamentos de placas (neotectônica); ou até mesmo de forma antrópica e natural pelas mudanças climáticas globais (esfriamento e aquecimento do planeta) (SUGUIO, 2010).

Evidentemente, as praias são constantemente modeladas por processos costeiros dinâmicos que por hora depositam sedimentos e outras vezes os retiram. A evolução paisagem costeira de Icapuí obedece a mesma premissa. Suas praias são compostas por sedimentos quartzosos, estendidas continuamente ao longo de todo litoral, contudo em algumas regiões é possível encontrar formações rochosas que remodelam a linha de costa alterando a evolução sedimentar local. Um exemplo, destas feições são os pontais rochosos (SUGUIO, 2010). Na praia de Ponta Grossa (Setor Leste de Icapuí) pode-se encontrar um promontório rochoso coberto pelos sedimentos de uma duna móvel que fornece constantemente sedimentos para a praia. Como citado anteriormente, Meireles; Santos (2012), apresentou para o litoral de Icapuí uma subdivisão em três setores: Oeste – Setor 1; Central – Setor 2 e Leste – Setor 3. Didaticamente, a compartimentação proposta ajuda entender que cada setor tem aspectos oceanográficos, geomorfológicos e ambientais especificamente apropriados a cada contorno de

Linha de Costa conforme setor praial (CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE, 2016).

Ainda como caracterização dos aspectos gerais da área de estudo chama atenção que algumas classes Geoambientais associadas ao uso ou cobertura do solo que parecem predominar na paisagem analisada. Por exemplo, vegetação antropizada associada a agricultura temporária e permanente; remanescentes florestais e a vegetação natural (matas e capoeiras) ocupam praticamente 90% de toda área municipal. Em contrapartida, como foco deste trabalho é a cobertura sedimentar, o cenário aponta que a categoria sedimentos (depósitos eólicos não vegetados, litorâneos e praias) representa irrisórios 1,29% de todo território municipal. Com o devido cuidado parecem ser informações que necessitam de atualização já que a porção destinada a cobertura sedimentar parece estar subestimada (CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE, 2016) (Figura 2).

Figura 2 – Representação dos limites das áreas de estudo multitempo-espaço. Setor 1 (Oeste), 2 (Central) e 3 (Leste) para análise de Linha de Costa. Destaque para algumas feições Geoambientais mapeadas segundo uso e cobertura.



Fonte: O autor.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Monitoramento Costeiro

Áreas costeiras unem a Terra e o mar, ainda que ocupem uma área pequena em relação ao total da superfície terrestre, concentram grande parte da população no mundo (INSTITUTOS NACIONAIS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – INCT, 2011). Elas se caracterizam pelas constantes mudanças no tempo e no espaço, isso implica diretamente na presença de grande diversidade de feições geológicas e abundância de paisagens naturais.

As regiões litorâneas são representadas aproximadamente por 2/3 da população mundial, onde 5 das 9 áreas metropolitanas brasileiras mais populosas intensificam e modificam constantemente o mosaico da paisagem costeira nacional. A presença maciça da população na figura do homem, segundo Suguio (2010), constitui a razão da existência do risco, já que os fenômenos naturais compõem eventos normais e frequentemente previsíveis.

A erosão costeira é um problema que assola as grandes cidades litorâneas que dia após dia tentam gerenciar a ocupação populacional quando estas são submetidas a enfrentar problemas de danificação na costa.

O problema da erosão pode ser causado ou evidenciado pela redução de entradas de sedimentos a partir de locais de elevação que são blindados por estruturas de proteção paralelas à costa que não adicionam novos sedimentos, ou seja, pode ocorrer porque o sedimento que já está no sistema de praia é preso pelas estruturas costa-perpendiculares. (NORDSTROM *et al.*, 2016)

Psuty *et al.* (2018) ao relatarem a experiência das agências federais americanas no monitoramento das mudanças geomorfológicas da costa estadunidense, como opções de manejo do uso da terra, ressaltam que a elevação do nível do mar é um fator geral que está gerando um amplo deslocamento do sistema ambiental marinho em grandes áreas. Soma-se a isso o orçamento negativo de sedimentos, que vem afetando o balanço dos processos erosionais ou deposicionais, modificando assim as características geomorfológicas naturais. Neste caso a energia das ondas incidentes que atuam no transporte de sedimentos de origem marinha, é provavelmente a responsável pela configuração das formas topográficas (geomorfologia praial) em uma perspectiva evolutiva.

Dos processos apontados pelos autores supracitados, os naturais, responsáveis pela morfologia da costa, são superados pela influência antropogênica, que elencam alternativas de convivência com os danos, tais como Estruturas de Defesa (construção de barreiras, aterros),

Acomodação ou Adaptação ao novo cenário implicando no uso continuado da terra (áreas propensas a inundação onde casas são construídas levantadas do solo) e Realojamento assistido (*Managed retreat*) que contemplam estruturas deslocadas para o interior com demolição ou abandono das estruturas em circunstância do aumento no nível do mar (WILLIAMS *et al.* , 2018).

Dos diferentes métodos de proteção utilizados ao longo do tempo, a maioria se fundamenta na alimentação artificial das praias e na construção de estruturas costeiras, como a virilha e os quebra-mares destacados. A decisão de construir uma estrutura costeira deve basear-se numa análise exaustiva dos desenvolvimentos da linha costeira no passado e na estimativa de desenvolvimentos no futuro. (VAIDYA; KORI; KUDALE, 2015).

Em uma realidade mais próxima, Paula *et al.* (2014) objetivando avaliar as alterações morfológicas após a construção emergencial da estrutura de contenção em 2011 (dissipador de energia do tipo Barra Mar), ao longo de 1,5 km para atenuar o processo erosivo, concluiu que em médio – longo prazo a praia revela tendência progressiva de perda de areia e, conseqüentemente, de redução da cobertura sedimentar integrante da zona emersa. Ou seja, mesmo com a intervenção artificial, a costa continuará sendo modificada e mesmo que as atividades e a ocupação tenham sido reduzidas, estas mesmas ainda estarão susceptíveis a mudanças naturais e antrópicas.

Hegde; Akshaya (2015) afirmam ser a zona costeira, uma área com imenso interesse geológico, geomorfológico e ecológico. O monitoramento e a mitigação da erosão da linha costeira ao longo de áreas costeiras povoadas é uma tarefa importante e continua sendo uma meta difícil de alcançar.

Mesmo com a existência antiga da Lei N° 7661/1988 que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 1988), tentativas de ações brasileiras estão surgindo no cenário atual como a aprovação do PROCOSTA, Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018), lançado no dia 27 de março de 2018 na Sede do Ministério do Meio Ambiente, contou com a presença de mais de cinquenta representantes de instituições do governo e de ensino. O PROCOSTA é um programa permanente de planejamento e gestão da zona costeira com caráter territorial. Proposto pelo MMA em parceria com instituições e academia, o PROCOSTA busca solucionar um importante problema de falta de dados confiáveis em escala nacional e, a partir desses dados, auxiliar na compreensão da atual situação na zona costeira (ZC), nas previsões de possíveis alterações futuras e nas alternativas de mitigação e adaptação (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018). O Ministério enfatiza ainda, a urgência da inserção do mapeamento de

riscos e vulnerabilidades no planejamento e no orçamento da União, Estados e Municípios, somados a coleta de dados mais eficiente com aprofundamento científico, ademais fazer com que os ecossistemas costeiros sejam enxergados devido sua importante função de proteção natural da Linha de Costa.

3.2 Estudos para o monitoramento da cobertura sedimentar e linha de costa

O ambiente costeiro se caracteriza pelas constantes mudanças no tempo e no espaço, isso implica diretamente na presença de grande diversidade de feições geológicas e abundância de paisagens naturais. A grande dinâmica encontrada nessas áreas litorâneas surge da complexa interação entre os sistemas deposicionais (aporte de sedimento) e os fatores erosivos de ordem natural ou de natureza antrópica, respectivamente, como por exemplo; nas correntes litorâneas, em correntes de marés, até mesmo pela ocupação em regiões costeiras (FLORENZANO, 2008).

O lugar onde o oceano encontra o continente é normalmente chamado litoral, já costa implica na grande zona afetada pelos processos que ocorrem entre a terra e o mar. A costa é um lugar ativo, região dinâmica onde as ondas geradas pelo vento quebram e dissipam energia. Geralmente, as linhas de costa representam estruturas temporárias submetidas a modificações rápidas, de formato que as transições temporais associadas aos arranjos de forma, dependem basicamente de alguns aspectos: Elevação e Subsidência, Abaixamento do continente por erosão e Redistribuição do material por transporte e deposição de sedimento (GARRISON, 2010).

Sendo assim percebe-se que as formas de relevo podem ser resultantes da ação constante dos processos do meio físico, condições climáticas, variações do nível do mar, natureza das sequências geológicas, atividades neotectônicas e do suprimento de sedimentos carregados pelos rios e oceano, que controlam o desenvolvimento de feições erosivas e construtivas na faixa litorânea (SOUTO, 2004). Onde, a alta vulnerabilidade ambiental reflete as condições de sensibilidade das unidades geomorfológicas sob o ponto de vista das alterações nos padrões espaços-temporais acarretadas por atividades humanas e processos naturais impostos pela dinâmica costeira na região (SOUTO, 2004).

A determinação da Linha de Costa (LC) e sua evolução é o procedimento mais comum encontrado no monitoramento costeiro, sendo ela a protagonista em muitos estudos para monitoramento de feições sedimentares costeiras. Geralmente com uso de imagens, as diferentes metodologias apresentadas nos trabalhos de gerenciamento costeiro, assim como

nesta pesquisa, de forma semelhante, foram exaustivamente usadas pelos autores Gopikrishna e Deo (2018), Pagán *et al.* (2018a), Rodriguez-Delgado *et al.* (2018), Hopkins; Elgar; Raubenheimer (2017), Araújo; Gomes, (2017), Almonacid-Caballer *et al.* (2016), Souza *et al.* (2016), Misra; Balaji, (2015), Natesan *et al.*, (2015), Hegde; Akshaya (2015), Mororó *et al.* (2015), Mendonça *et al.* (2014), Ford (2013), Ximenes *et al.* (2013), Marino; Freire, (2013), Aiello *et al.* (2013), Farias e Maia (2010). Estes artigos, em boa parte metodológicos, complementaram as informações sobre evolução da cobertura sedimentar e LC, agregando aos seus resultados, dados sobre o balanço sedimentar, características físicas das ondas, comportamento das marés, características dos ventos, mineralogia do sedimento, precipitação na bacia de captação, ocupação humana e estruturas físicas. Geralmente, são análises integradas sob a ótica das mudanças ao longo do tempo e espaço, assim como pode ser visto nos trabalhos de Splinter *et al.* (2018), Pagán *et al.* (2018b), Giardino *et al.* (2018), Pikelj *et al.* (2018), Psuty *et al.* (2018), Martins *et al.* (2017), Vaidya; Kori; Kudale, (2015) e Ribeiro *et al.* (2013).

Além da Linha de Costa, quando o estudo contempla a participação dos sedimentos, o entendimento da dinâmica envolvendo sua quantificação e transporte é imprescindível para o entendimento dos processos erosivos na região costeira. Silva (2016) destaca a importância da total compreensão da transposição de sedimentos e dos fatores que a geram para o entendimento do balanço de sedimentos, principalmente quando existem promontórios, desembocaduras e estruturas construídas pelo homem, as quais atuam como um obstáculo ao transporte de sedimentos ao longo da costa. O fluxo de água e sedimentos é interrompido (ou reduzido) implicando em um acúmulo de sedimentos a sotamar.

O que se tem observado, ainda no tocante a dinâmica sedimentar, são pesquisas objetivadas a compreender a dinâmica baseada em dados medidos em campo e modelos numéricos, a saber: aqueles que incluem variações batimétricas (VAIDYA; KORI; KUDALE, 2015), variações batimétricas da plataforma antepraia no leste australiano em Cape Byron (GOODWIN; FREEMAN; BLACKMORE, 2013) que relacionaram a transposição de sedimentos com a variabilidade do clima de ondas; assim como na Praia de Granada na costa do mar Mediterrâneo – Espanha sob influência de uma usina de geração de energia a partir das ondas (RODRIGUEZ-DELGADO *et al.*, 2018), determinação das taxas de assoreamento na desembocadura de São Luís – Maranhão com a digitalização e vetorização de cartas náuticas, batimétricas e fotografias aéreas (AZEVEDO; CASTRO; SANTOS, 2016), aplicação da classificação de compartimento sedimentares apoiado pelo governo australiano para entender melhor a dinâmica dos sedimentos costeiros, como uma estrutura para considerar o futuro comportamento da linha costeira e os impactos das mudanças climáticas, incluindo aumento do

nível do mar, mudança de climas e sedimentos orçamentários (THOM *et al.*, 2018); uso de imagens de satélite (GEORGE *et al.*, 2015, GIARDINO *et al.*, 2018, NEELAMANI, 2018, ROSA; SILVEIRA, 2013), experimentos laboratoriais fundamentados nas características sedimentares dos “depósitos de tsunamis” para a concepção de uma escala de tsunami (YOSHII; TANAKA; MATSUYAMA, 2018), modelagem numérica (PEIXOTO; ROSMAN; VINZON, 2017, ARAGONÉS *et al.*, 2018), e o uso de GNSS (SANTOS *et al.*, 2013, FERNANDES *et al.*, 2015).

Apesar dos trabalhos supracitados, George *et al.* (2015) questionam a escassez de estudos que conectem processos oceanográficos às taxas de transporte de sedimentos e seu reflexo nas mudanças morfológicas.

Além de Azevedo; Castro; Santos (2016) e Santos *et al.* (2013), Różyński, (2018) de fato apresentou a quantificação de sedimentos em volume com o objetivo de elaborar um indicador polonês de estabilidade costeira baseado na Linha de Costa e volume, relacionando diretamente a pelo menos cinco parâmetros: volume total do perfil da praia, largura da praia, declividade da praia e localização do pé da duna. Em menor grau, também foi relacionado ao volume da duna.

A análise da precisão e utilidade deste indicador alimentou a implementação da Lei de Proteção Costeira de 2003 da Polônia, que definiu a nutrição da praia como o principal instrumento de proteção costeira; portanto, os requisitos de nutrição precisavam ser quantificados, e o indicador deveria servir como uma ferramenta de diagnóstico para determinar os volumes de preenchimento. Já Azevedo; Castro; Santos (2016) avaliando as taxas de assoreamento na embocadura estuarina de São Luís – Maranhão, evidenciaram um processo de preenchimento sedimentar que coincide com as intervenções que ocorreram na bacia dos rios Anil e Bacanga, com estimativas de volume assoreado na ordem de $8,5 \times 10^3 \text{ m}^3$, no período de 1944 a 2011 (64 anos), com taxa de 1,6 cm ano.

3.3 Geotecnologias para monitoramento costeiro

A seleção do método de monitoramento costeiro dependerá, obviamente, do tipo e da acessibilidade da área, do seu tamanho e das taxas de mudança esperadas (mudanças rápidas podem exigir monitoramento mais frequente). A disponibilidade de equipamentos e *know-how* também influenciará a escolha dos métodos. Uma análise de custo-benefício deve ajudar a decidir se vale a pena, por exemplo, usar os métodos aéreos mais caros, mas mais rápidos e não invasivos, ou os métodos de levantamento terrestre mais limitados, porém mais precisos e mais

baratos (BIO *et al.*, 2015).

Como explanado no tópico anterior, acerca dos trabalhos envolvendo de alguma forma a dinâmica sedimentar, as ferramentas com o uso de fotografia aérea, cartas náuticas, cartografia são as mais utilizadas para trabalhos de avaliação da evolução da erosão em intervalos longos como (PAGÁN *et al.*, 2018a) em 50 anos, (FORD, 2013) em 67 anos e (AIELLO *et al.*, 2013) em 84 anos que Datum do ano de 1870, por exemplo.

Quando o período adentra a época em que as imagens de satélite já estavam disponíveis, assim como o acesso aos levantamentos batimétricos, essas fontes de aquisição de dados são mescladas.

Levantamentos batimétricos são cruciais para a navegação em qualquer corpo aquoso, além de serem necessários para as modelagens hidrodinâmicas e acompanhamento de processos de erosão ou assoreamento. Os levantamentos batimétricos por ecobatímetro são lentos e de alto custo, uma vez que necessitam de embarcação e pessoal capacitado. (KRUG; NOERNBERG, 2005).

Jagalingam; Akshaya; Hegde (2015) dissertam que o perfil batimétrico é um dos parâmetros que desempenha um papel importante na estruturação das ações de planejamento perto da costa, como o trabalho de engenharia, gestão portuária, ductos de óleo, operação de dragagem, perfuração de petróleo, aquicultura, etc., e também é significativamente importante determinar a topografia subaquática, movimentação de sedimentos e gerar a carta hidrográfica para transporte de segurança. Os dados de batimetria são essenciais ao longo do ano, para prever o nível de sedimentos para manter a profundidade de canais artificiais para navegação segura.

Historicamente, a batimetria era determinada usando métodos convencionais, como corda pré-medida ou passagem de cabos, colocados ao lado do navio da embarcação e autorizados a alcançar o fundo do mar, sendo demorado e ineficiente. (JAGALINGAM; AKSHAYA; HEGDE, 2015)

Em águas rasas, outras tecnologias estão sendo inseridas para a aquisição com custos mais acessíveis e redução de tempo, por exemplo, a extração dos perfis batimétricos a partir de imagens obtidas por sensores remotos. (PATTANAİK; SAHU; BHUTIYANI, 2015, KRUG; NOERNBERG, 2007).

Pattanaik; Sahu; Bhutiyani (2015), afirmam que as técnicas de processamento de imagem que envolvem dados de sensoriamento remoto multiespectrais são consideradas muito atraentes para aplicações de batimetria, pois fornecem uma solução eficaz em termos de custo e eficiente para a estimativa de profundidades de água.

Pattanaik; Sahu; Bhutiyan, (*op cit*) na tentativa de determinar o mapeamento batimétrico da costa sudoeste da Índia ($13^{\circ}0'0''N$ e $74^{\circ}50'0''E$), em uma visão simplista, usaram bandas (bandas azul e verde) satélite Landsat 8, através de técnicas de processamento, conseguiram integrar propriedades multiespectrais das imagens com dados de eco-sonda e de GPS de precisão para a determinação da profundidade na área de interesse, num procedimento conhecido como edição de modelos de batimetria de transferência radiativa linear.

SANTOS; AMARO; SOUTO (2011) apresentam a metodologia geodésica desenvolvida para o levantamento, geração e avaliação de Linhas de Costa (LC) e Modelos Digitais de Elevação (MDE) de litorais arenosos, e um estudo de caso realizado no sistema de ilhas barreiras com praias arenosas e canais de maré intermitentes do Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN), Nordeste do Brasil, área sensível ambientalmente e caracterizada pela intensa erosão/acresção costeira sob ação de atividades petrolíferas. A metodologia permitiu a determinação de LC e MDE a partir de coordenadas geodésicas e de altitudes ortométricas com precisão de poucos centímetros em relação ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), a partir do posicionamento e da altimetria por GPS no modo relativo. As principais características da metodologia proposta são a precisão, o uso de indicador de LC específico para análises de dinâmica costeira e o emprego de referenciais geodésicos (geográfico e altimétrico) unívocos, fixos e relativamente estáveis no tempo. A metodologia aplicada permite a repetição dos levantamentos nas mesmas condições de maré e com os mesmos referenciais geodésicos, sendo adequada para a comparação multitemporal de levantamentos realizados no domínio espacial e temporal e de grande potencial nos estudos de análise da dinâmica costeira (erosão/acresção sedimentar) de precisão.

SANTOS *et al.* (2013) apresentam metodologia utilizada na altimetria GNSS de precisão aplicada em estudos costeiros de praias arenosas localizadas no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte, baseada em cálculo, modelagem e remoção da Componente Sistemática (CS) do modelo Geoidal. Os métodos foram aplicados e avaliados utilizando o modelo Geoidal MAPGEO. O cálculo da CS foi realizado em Referências de Nível (RNs) localizadas na área de estudo pela subtração entre as alturas geoidais gravimétricas, obtidas pelo modelo geoidal, e as geométricas, obtidas pelo posicionamento GNSS em RNs. Após modelagem e remoção da CS, por um modelo de superfície polinomial quadrática, a CS calculada, com média de - 0,498 m, Desvio Padrão (DP) de 0,110 m e Erro Quadrático Médio (EQM) de 0,509 m, passou a ter média nula, DP de 0,065 m e EQM de 0,062 m. Avaliações realizadas a partir de pontos de controle externos ao modelo mostraram que a metodologia forneceu acurácia decimétrica à altimetria GNSS.

SANTOS *et al.* (2015) propõem uma metodologia para mapeamento da vulnerabilidade costeira à elevação do Nível Médio do Mar (NMM) em escala local, com estudo de caso na orla marítima da Ilha de Madre de Deus/BA. Essa orla marítima é densamente ocupada por bairros residenciais e instalações da indústria petrolífera. Para isso, foi criado um índice de vulnerabilidade costeira com a combinação de quatro variáveis geológicas (geomorfologia, declividade, elevação e taxa de erosão/acreção na face de praia), determinadas em levantamentos sazonais (verão e inverno) de perfis de praia georreferenciados e niveladas em relação ao NMM, e três variáveis de processos físicos costeiros (taxa de elevação do nível médio do mar, altura significativa de onda e amplitude de maré média). O mapa representou a variação da vulnerabilidade relativa ao longo de distintos setores da Linha de Costa possibilitando identificar a combinação mais crítica das variáveis, ou seja, áreas prioritárias às intervenções antrópicas para redução das vulnerabilidades por meio de estratégias de prevenção, mitigação e/ou adaptação socioeconômicas e ambientais aos impactos da elevação do NMM. Os resultados mostraram alto potencial na aplicação da metodologia em setores de beira-mar, cuja pequena extensão requer o mapeamento em escala de detalhe.

Os perfis topográficos foram levantados nos períodos de verão e inverno, estações representativas dos diferentes cenários de atuação dos agentes dinâmicos costeiros (ventos, ondas e correntes de maré e litorâneas) em relação à maior erosão e/ou acreção de sedimentos no ambiente praias, acompanhadas de modificações morfológicas no perfil da praia (AMARO; SOUTO, 2012, SANTOS *et al.*, 2013).

Santos e Amaro (2011) apresentam os procedimentos técnicos envolvidos na implantação da Rede GPS do Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte (RGLS), onde o objetivo foi o de fornecer subsídios fundamentais aos levantamentos geodésicos destinados ao monitoramento de áreas costeiras, submetidas à intensa dinâmica e de grande importância socioeconômica e ecológica para o Estado do Rio Grande do Norte. A metodologia permitiu a determinação das coordenadas geodésicas e altitudes ortométricas das estações com precisão decimétrica em relação ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), a partir do método de posicionamento relativo e da altimetria por GPS. Ainda, foi possível o estudo de aspectos geodésicos envolvidos na altimetria por GPS, tais como avaliação da situação física e da densidade das Referências de Nível (RN) disponíveis, avaliação absoluta e relativa do modelo Geoidal, proposição de metodologia para a altimetria por GPS de precisão e desenvolvimento de software para essa finalidade, que contribuíram para o conhecimento geodésico na área de estudo.

A zona costeira ao longo dos três distritos de Surat, Navsari e Valsad, no sul de Gujarat, na Índia, vem enfrentando sérios desafios ambientais, especialmente devido aos impactos antropogênicos. Este estudo avalia as mudanças decadais nas mudanças históricas da Linha de Costa, usando imagens de satélite da série Landsat (TM, ETM+ e OLI) (MISRA; BALAJI, 2015). Pinheiro (2000), reforça a influência ação humana em conflito ao ordenamento territorial das zonas costeiras ao analisar a compatibilização dos processos “morfodinâmicos” em função do uso e ocupação da praia da Caponga-Cascavel-CE.

No geral, a palavra “Integrado” no *Integrated Coastal Area Management* (ICAM) sugere que uma abordagem multidisciplinar é necessária para entender a dinâmica dos ambientes marinhos e costeiros, e o sensoriamento remoto é identificado como uma peça do quebra-cabeça que os administradores costeiros e oceânicos não devem hesitar em integrar suas práticas. (OUELLETTE; GETINET, 2016).

O sensoriamento remoto pode ser considerado como uma das ferramentas alternativas mais promissoras para mapear a batimetria oceano, devido à sua extensa cobertura da área, baixo custo e repetitividade. Nos últimos anos, lançamentos bem-sucedidos de satélites de sensoriamento remoto, como *Ikonos*, *QuickBird* e *Worldview-2*, oferecem imagens com altas resoluções espacial e espectral, mas todas essas imagens precisam ser adquiridas comercialmente. A aquisição de imagens comercialmente disponíveis se mostra cara para a maioria dos países em desenvolvimento.

No presente trabalho, a aplicação dos dados de imagens do Landsat 8 disponíveis gratuitamente é feita para mapear a batimetria do oceano. Imagens do Landsat-8 são baixadas do site do UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS, 2015) e usadas para determinar a batimetria do oceano. (JAGALINGAM; AKSHAYA; HEGDE, 2015).

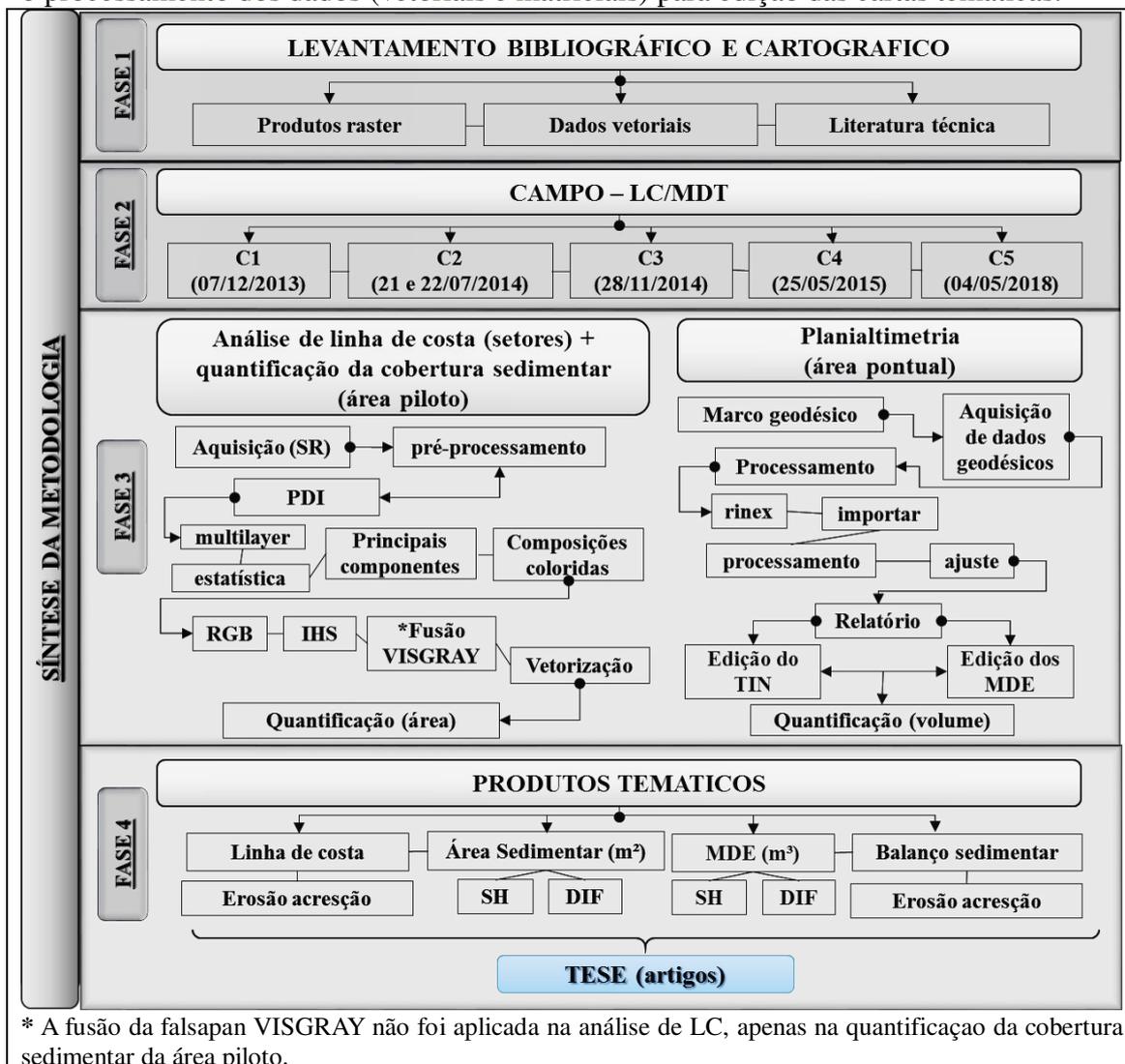
4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para responder aos questionamentos que alimentam o trabalho e aos objetivos desdobrados na afirmação da hipótese, os materiais utilizados, os métodos, as técnicas, e os procedimentos utilizados foram distribuídos em três escalas espaço-temporais específicas. Conforme a Figura 2; uma escala multitemporal entre os anos de 1985 e 2015 espacialmente dividida em três regiões, da mesma forma que se vê na setorização feita por Meireles; Santos, (2012). Outra escala temporal entre os anos de 2012 e 2015 espacialmente representativa de uma área piloto local (Figura 1). Por último, a escala temporal entre 2013 e 2018 representativa de um setor pontual restrita espacialmente a Praia de Ponta Grossa (Figura 1). A área piloto foi utilizada para quantificação da cobertura sedimentar em metros quadrados. Já a área pontual para mapeamento e quantificação da cobertura sedimentar em metros cúbicos. É notório a paisagem costeira do município de Icapuí estado do Ceará além de complexa apresenta unidades geoambientais (CEARÁ, 2016) imersas ao complexo mosaico de usos oriundos principalmente da atividade antrópica de origem agrícola, tais como: agricultura temporária, permanente e horticultura. Contrapondo-se as feições de uso, no mesmo trabalho de zoneamento (CEARÁ, 2016) conforme ilustrado anteriormente na Figura 2, ainda existe vegetação natural, dunas ativas e remanescentes florestais associadas provavelmente a restinga e manguezal eventualmente dispostos sobre os depósitos eólicos, litorâneos e praias.

A Figura 3, apresenta o planejamento e execução do trabalho de campo para aplicação da metodologia. Este ocorreu inicialmente em dezembro de 2013 e conclusivamente em maio de 2018, fechando quase cinco anos desde que o primeiro levantamento foi realizado.

No total foram realizadas cinco visitas (*in loco*) em um pequeno setor da praia. Neste sentido, a metodologia foi subdividida para atender demandas diferentes, sendo executada em quatro fases (Figura 3). Cabe lembrar que o campo maio de 2018, teve a finalidade de estender a escala multitemporal e acompanhar o cenário de evolução dos sedimentos em escala de tempo médio. Admite-se que os dados processados e os resultados deste último levantamento topográfico na praia foram fundamentais para “testar” a hipótese de predominância dos processos costeiros deposicionais.

Figura 3 – Fluxograma metodológico: Faze 1, 2, 3 e 4. Desde os campos executados até o processamento dos dados (vetoriais e matriciais) para edição das cartas temáticas.



A Fase 1, implicou na revisão da literatura a fim de tomar conhecimento da problemática da erosão provocados pela evolução costeira natural ou pelos impactos ambientais negativos oriundos de pressões humanas sobre o litoral de Icapuí. Foi na primeira fase que todos as cartas, mapas, arquivos vetoriais e matriciais foram adquiridos gratuitamente para confecção deste trabalho.

Durante as leituras e aquisição dos dados, constatou-se que a técnica de fusão entre imagens com diferentes resoluções espectrais e espaciais de uma mesma plataforma é comum. Contudo, a proposta de integração de uma imagem editada em tons de cinza denominada “falsapan” com imagens orbitais (ou não) de múltiplos sensores pode representar um desdobramento infrequente na literatura técnica aqui revisada.

Na Fase 2, cinco levantamentos de campo foram realizados entre os anos de 2013 a 2015 (análise em curto tempo) e de 2013 até 2018 (análise em médio tempo).

As ferramentas e os procedimentos metodológicos da Fase 3 do trabalho foram organizados para atender a três demandas: Análise das variações de Linha de Costa (total e setorizada); Monitoramento da cobertura sedimentar para quantificação da área e Monitoramento das feições sedimentares para quantificação do volume (GNSS) segundo a metodologia de AMARO *et al.*, (2012).

A fase 4 consistiu na tabulação dos dados produzidos, na edição das cartas temáticas coerentes com os objetivos e hipótese apresentados. Os produtos gerados, assim como a revisão deste manuscrito, servirão para geração de mapas que eventualmente poderão ser utilizados nas tomadas de decisão como sistemas de suporte a gestão costeira integrada.

Os procedimentos descritos na metodologia foram executados no Laboratório de Geoprocessamento do Ceará, do Departamento de Geologia da UFC, que dispõem dos equipamentos, *softwares* aplicativos e estrutura necessária para modelagem dos dados e confecção dos mapas.

4.1 Análise da Linha de Costa (LC) para o município de Icapuí (CE) entre 1985 e 2015

Basicamente a escolha obedeceu a quatro aspectos: baixa porcentagem de cobertura de nuvens, cena capaz de identificar as superfícies arenosas litorâneas e intervalo temporal regular (diferença de 6 anos) e aquisição gratuita.

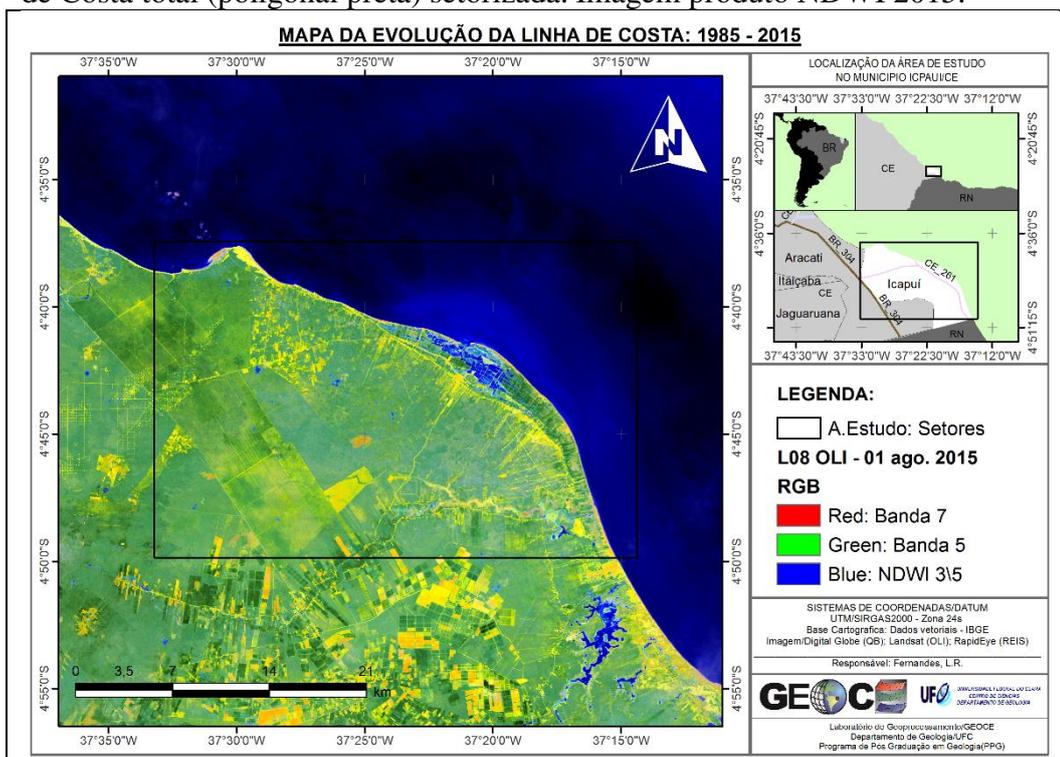
4.1.1 Recorte espacial: Setores de Estudo

Para analisar a paisagem do litoral de Icapuí (Setores: Leste 1, Central 2 e Oeste 3) foram escolhidas 6 cenas de imagens orbitais da série Landsat 5 e 8: cinco do sensor TM (1985; 1991; 1997; 2003; 2009) e uma do sensor OLI (2015) (Tabela 1), obtidas gratuitamente no site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2013) e no sítio institucional *EarthExplorer* (USGS, 2015). A partir desta escolha, optou-se pelo recorte espacial de uma área menor limitada por um polígono regular com área igual a 796.000 km² que em seguida foi subdividido em setores 1, 2 e 3 (Figura 4).

4.1.2 Separação das Zonas Emersa e Submersa através de Sensoriamento Remoto

A separação entre zona emersa e submersa considera principalmente as características espectrais da água. Segundo Ferreira, Amaro, Santos (2013), a água líquida tem baixa reflectância na faixa entre $0,38 \mu\text{m}$ e $0,70 \mu\text{m}$ absorvendo toda a radiação acima de $0,70 \mu\text{m}$, ou seja, em uma cena sem cobertura de nuvens sobre a superfície alva, os corpos d'água continentais e marinhos são vistos em tons escuros (valores dos níveis de cinza baixos), devido à alta absorção naquele intervalo do espectro (EEM) (FERREIRA, AMARO, SANTOS, 2013). Conseqüentemente, realizou-se um PDI que permitisse gerar produtos resultantes que destacassem os corpos d'água em relação ao continente e nuvens. Para este fim, como pode ser observado no mapa da Figura 4, aplicou-se o índice *Normalized Difference Water Index* (NDWI) na relação de razão por diferença normalizada entre bandas 2 e 4 (TM/ETM+) e entre bandas 3 e 5 (OLI). O produto desta operação resulta em uma imagem onde as formas de ocorrência de corpos d'água aparecem em destacáveis e incontestáveis tons azuis (BRENNER; GUASSELLI, 2015) (Figura 5).

Figura 5 – Representação dos limites das áreas de estudo para análise de Linha de Costa total (poligonal preta) setorizada. Imagem produto NDWI 2015.



Fonte: O autor.

Definido por McFeeters (1996), pois existe relação da 5 com a 4, sugerido por Gao (1996) essa relação é dada pelas equações:

$$NDWI = \frac{\rho_2 - \rho_4}{\rho_2 + \rho_4} \quad \text{Equação 1}$$

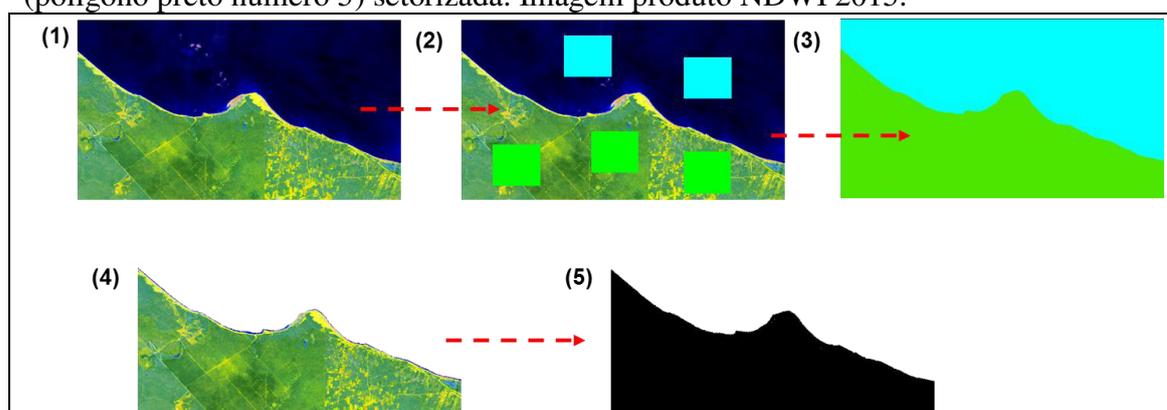
$$NDWI = \frac{\rho_3 - \rho_5}{\rho_3 + \rho_5} \quad \text{Equação 2*}$$

Onde ρ , representa a reflectância das bandas medidas (*OLI).

4.1.3 Classificação Terra e Água

Para cada produto de composição colorida escolhida (R-7 G-4 B-NDWI TM; R-7 G-5 B-NDWI OLI) na análise espacial foram definidas algumas regiões de interesse (ROI) que correspondem aos conjuntos de pixels marcados nas imagens associados as feições oceano e continente. Através da classificação supervisionada (*MaxVer*) (SULSOFT, 2003) das 6 imagens NDWI (R-7 G-4 B-NDWI2/4 TM; R-7 G-5 B-NDWI3/5 OLI), foi gerado o arquivo vetorial de polígonos de corpos d'água, estes são unidos em um único *shapefile* usado para separar continente e oceano. Através do processo “*extract by mask*” que recorta a imagem *raster* com o *shapefile* do oceano, obtém-se finalmente a zona emersa da imagem recortada para cada data (Figura 6).

Figura 6 – Representação esquemática da etapa da classificação dos produtos NDWI, recorte da zona submersa e extração do continente para análise de Linha de Costa total (polígono preto número 5) setorizada. Imagem produto NDWI 2015.



Fonte: O autor.

4.1.4 Vetorização de Linha de Costa Total e por Setores

A vetorização das linhas de costa da série histórica usou como referencial de posição inicial, os polígonos associados ao continente. Estes arquivos foram inseridos em ambiente computacional tipo SIG (Sistemas de Informações Geográficas), onde os planos de informações de LC foram sobrepostos para integração dos dados e confecção dos mapas de erosão e acreção.

O cálculo implica em efetuar a diferença entre os valores de área ano a ano e de forma acumulativa entre o tempo final e inicial. Usando o comando diferença simétrica (*symmetrical difference*) do *software* de geoprocessamento ArcGis 9.3 (ESRI, 2008) foram criados novos polígonos que correspondem as variações temporais daquele período. Sendo assim obteve-se a identificação e quantificação em área para os intervalos entre 1985-1991; 1991-1997; 1997-2003; 2003-2009; 2009-2015; 1985-2015.

Do ponto de vista espacial, a quantificação citada anteriormente, inicialmente foi realizada para toda extensão da Linha de Costa pertinente aos limites municipais de Icapuí ano a ano entre 1985 e 2015.

Em seguida esta mesma Linha de Costa total foi seccionada em três setores (Figura 4) com o propósito de avaliar se os padrões espaço-temporais deposicionais quantificados na LC total eram semelhantes aqueles das três áreas setorizadas. Tanto para a LC total quanto para LC setorizadas as variações temporais foram classificadas em duas categorias: áreas de erosão e acreção. As regiões que não sofreram modificações em relação a LC inicial, foram denominadas como áreas de estabilidade.

Por fim, estes dados transformados foram abertos no *software* de geoprocessamento ArcGis 9.3 (ESRI, 2008), onde suas áreas em metros quadrados foram calculadas para cada intervalo e cumulativamente entre 1985 e 2015.

4.2 Sensoriamento remoto para análise da cobertura sedimentar em série histórica entre 2012 e 2015

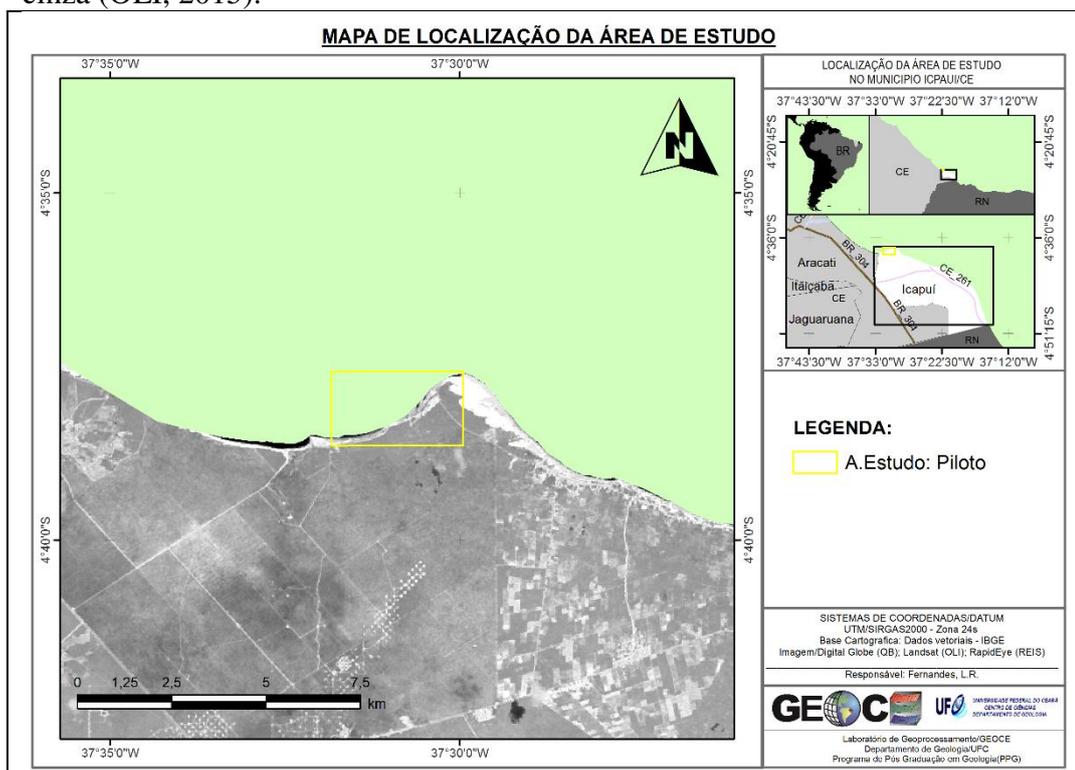
Os procedimentos metodológicos foram organizados segundo as visitas de campo, norteados pela aquisição de produtos imagem para mapeamento do alvo de interesse. O trabalho foi distribuído em cinco etapas:

- aquisição de base cartográfica e produtos imagem;
- pré-processamento;
- processamento de imagens digitais (PDI);
- composições coloridas testadas;
- quantificação das coberturas sedimentares em função das áreas de erosão e acreção.

4.2.1 Recorte espacial: área de estudo

Conforme mencionado na metodologia, entre 2012 e 2015, a janela espacial está representada na figura abaixo (Figura 7):

Figura 7 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Escala de mapeamento pontual: destaque para o polígono amarelo da área piloto – imagem em tons de cinza (OLI, 2015).



Fonte: O autor.

Por convenção, admitiu-se no presente estudo, que todas as feições geomorfológicas, provavelmente caracterizadas na literatura como ilhas sedimentares, barras arenosas, flechas de areia, depósitos praias, entre outras, independentemente das terminologias conceituais e classificações específicas devem ser apreciadas na categoria única: cobertura sedimentar (FERNANDES *et al.*, 2015). Isto porque, o que importa neste trabalho em termos de nomenclatura, é que estas superfícies, são acumulações de sedimentos arenosos realçados nas imagens e adequadamente reconhecidas *in situ*.

4.2.2 Aquisição de base cartográfica e produtos imagem

Consulta a banco de dados digitais georreferenciados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2016), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM, 2011), do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, 2011) e da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). Através destas instituições os dados analógicos ou digitais foram obtidos, principalmente arquivos do tipo “*shapefile (.shp)*” para estruturar uma base cartográfica de referência conhecida e integrar os planos de informação em um ambiente computacional típico de um SIG (Sistema de Informação Geográfica).

As imagens foram adquiridas gratuitamente nos sítios institucionais: *United States Geological Survey*, através do portal “*Earth Explorer*” <https://earthexplorer.usgs.gov/> (USGS, 2015) e Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais através do catálogo de imagens: <http://www2.dgi.inpe.br/CDSR/> (INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – 2013).

No total foram adquiridos 16 produtos multiplataforma: seis imagens dos sensores **TM** (1985 -1999) (Tabela 2), duas **REIS** (2012; 2014) (Tabela 3 e 4), quatro **OLI** (2013; 2014; 2015) (Tabela 2 e 3), uma **Q.BIRD** (2013) (Tabela 4) e **MUX** (2015) (Tabela 4). Vale relembrar que concomitantemente a etapa inicial de aquisição de imagens, em aproximadamente dezessete meses, nos dias 07/12/2013; 21-22/07/2014; 28/11/2014 e 25/05/2015 quatro etapas campo iniciais foram realizadas. O propósito foi tentar adquirir produtos de sensoriamento remoto com datas de aquisição próximas as datas dos levantamentos de campo. Estes objetivaram reconhecer limites topológicos e morfologias arenosas típicas de coberturas sedimentares litorâneas.

Paralelamente, a obtenção dos produtos gratuitos esteve condicionada a dois critérios: escolha de imagens do mesmo período sazonal em intervalo de tempo médio (decadal) e seleção de produtos em série histórica curta (interanual e intranual). O primeiro, para analisar a evolução da paisagem sob a ótica do uso e cobertura do solo em um recorte espacial pertinente à um setor regional do município de Icapuí/CE (Tabela 2). O segundo, para mapeamento detalhado e pontual das superfícies arenosas situadas na Praia de Ponta Grossa localizada no mesmo município (Tabela 3).

Propositamente, o recorte regional foi necessário para nortear a definição dos limites da área pontual. O mecanismo permitiu apreciar a evolução da paisagem em uma escala espacial média e fina em intervalo de tempo médio e curto, o que de certo modo sugere uma análise em múltiplas escalas (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 – Produtos de sensores remotos utilizados relativos a análise de LC tempo longo, conforme data de aquisição. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000.

SÉRIE HIST.	INTERVALO	PLATAFORMA - Aquisição	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL
Médio tempo	(anos)	#Landsat/	-	(m)
1985	0	#27/07/1985	# TM	30/15pan
1991	6	#15/08/1991	# TM	30/15pan
1997	6	#02/10/1997	# TM	30/15pan
2003	6	#15/07/2003	# TM	30/15pan
2009	6	#31/07/2009	# TM	30/15pan
2015	6	#01/08/2015	# OLI	30/15pan

Fonte: O autor.

Tabela 3 – Imagens utilizadas em intervalo de tempo curto. Período de aquisição e respectivas datas das campanhas de campo/GNSS. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000.

SÉRIE HIST.	INTERVALO	PLATAFORMA - Aquisição	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL	DATAS
Curto tempo	(meses)	^RapidEye/ #Landsat	-	(m)	(Campo)
2012	0	^06/06/2012	REIS	5	-
2013	17	#01/12/2013	OLI	30/15pan	07/12/2013
2014	7	#29/07/2014	OLI	30/15pan	22/07/2014
2015	10	#13/05/2015	OLI	30/15pan	25/05/2015

Fonte: O autor.

4.2.3 Pré-Processamento

O pré-processamento consistiu em preparar as imagens, antes que estas fossem tratadas ou que pudessem gerar dados pertinentes a evolução da paisagem.

Preliminarmente, os dados vetoriais e matriciais manipulados foram executados no mesmo Sistema de Coordenadas e Datum (UTM/ Zona 24 Sul/SIRGAS2000). Correção atmosférica, retificação (georreferenciamento), fusão de imagens, realce de contraste e recorte espacial foram técnicas empregadas.

A correção atmosférica permite minimizar efeitos nas distorções espectrais de valores nos números digitais (DN). Onde os níveis de cinza em excesso trazidos pelo espalhamento atmosférico foram subtraídos individualmente de cada banda nas imagens (CROSTA, 1992).

O georreferenciamento contribuiu para “justaposicionar” os produtos de sensoriamento remoto segundo um referencial espacial conhecido. Basicamente, a partir de uma cena do sensor OLI (Landsat 8), integrados a pontos de controle levantados por GPS/geodésico em campo, as demais imagens foram retificadas, gerando “novos” produtos ajustados (CRÓSTA, 1992; JENSEN, 1986).

Em seguida, um arquivo “*multilayer*” foi criado, onde um conjunto de bandas de cada satélite/sensor foi “comprimida” em um único arquivo. O procedimento foi essencial para viabilizar o recorte das janelas espaciais e facilitar as etapas do PDI no que diz respeito aos arranjos das composições coloridas.

Diante da necessidade em preencher as lacunas entre tempo médio e curto, de manter a resolução espacial de média à fina e fazer uso das propriedades espectrais dos produtos dos sensores orbitais, criou-se uma imagem denominada de “*FalsaPan*” (Tabela 4).

A metodologia implicou em “reproduzir” imagens análogas as pancromáticas. O método consistiu em realizar um recorte nas imagens dos sensores *REIS*, *MUX* e *Quickbird (DigitalGlobe)* associadas a área piloto, georreferenciá-las, em seguida salvá-las em tons de cinza (*grayscale*) na faixa do Espectro Eletromagnético (EEM) correspondente ao visível (ou RGB321) (FERNANDES *et al.*, 2015). Finalmente, com o arquivo *multilayer (merge)* pronto, as bandas do Landsat8/OLI foram integradas as imagens retificadas *FalsaPan*. (Tabela 4).

Tabela 4 – Produtos “*multilayers*” resultado das fusões de bandas (merge), período de aquisição e respectivas datas das campanhas de campo/GNSS. Coordenadas UTM – Zona 24S e Datum SIRGAS2000.

SÉRIE HIST.	INTERVALO	PLATAFORMA - Aquisição	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL.	DATAS
Curto tempo	(meses)	#Landsat/*DigitalGlobe/ ^RapidEye/®CBERS	(Fusão com falsapan)	(m)	(Campo)
2012	0	^06/06/2012	^REIS	5	-
2013	18	# 01/12/2013 *23/12/2013	# OLI + *Q.Bird	5	07/12/2013
2014	7	#29/07/2014 ^20/07/2014	# OLI + ^Reis	5	22/07/2014
2015	10	# 13/05/2015 ®11/04/2015	# OLI +®MUX	5	25/05/2015

Fonte: O autor.

Continuando a etapa do Pré-Processamento, sabe-se que atualmente as imagens de sensoriamento remoto são registradas com uma resolução radiométricas de 11 ou mais bits, que podem produzir 2048 valores ou níveis de cinza (NC), conhecidos também como números digitais (DN) (JENSEN, 2009).

Neste sentido, algumas técnicas para aumento de contraste foram aplicadas. O realce pode ser entendido como redistribuição dos valores numéricos, onde os níveis de cinza de uma imagem são espalhados. De forma simples, o histograma das imagens é utilizado para identificar se os valores numéricos (DN) estão concentrados entre tons escuros ou claros, caso estejam, os pixels com valores baixos e/ou altos são espalhados pelo aumento ou diminuição do contraste. Preliminarmente, é um método satisfatório para reduzir efeitos que por vezes impedem a visualização das feições de interesse. Sem aplicação do realce de contraste é provável que se omita superfícies sedimentares e morfologias costeiras contidas na imagem bruta, não processada (CRÓSTA, 1992; JENSEN, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2013).

Como mencionado na metodologia, as escalas de mapeamento foram delimitadas para uma janela setorial (escala menor) para mapeamento da Linha de Costa; bem como área piloto para monitoramento exclusivo da superfície arenosa (escala maior) (Figura 5).

4.2.4 Processamento de imagens digitais (PDI)

No processamento as imagens digitais são manuseadas com a finalidade de identificar, extrair informações e transformar a imagem para que os alvos de interesse sejam mais facilmente percebidos por um analista (CRÓSTA, 1992).

Sabe-se que os alvos na superfície terrestre possuem assinatura específicas, identidade em função de estrutura e composição. Dentro deste contexto, calculando-se a estatística de bandas é relativamente simples reconhecer nos produtos gerados pelo PDI, por exemplo, os limites entre área emersa e submersa, a heterogeneidade da paisagem costeira e padrões de tonalidade, textura e geometria pertinentes aos sedimentos arenosos.

Nesta etapa, optou-se por estabelecer métodos em função de testes e seleção de triplete de bandas que realmente permitissem a identificação correta dos alvos de interesse. Após o pré-processamento, as etapas do PDI consistiram meticulosamente em: cálculo da estatística de bandas; análise das componentes principais (ACP); testes no espaço de cor (RGB/IHS) e seleção composições potenciais.

A princípio, a estatística permite verificar que bandas de um mesmo sensor estão correlacionadas. Admite-se, portanto, uma relação inversamente proporcional, onde quanto menor for a correlação entre as bandas, melhor para discriminação de objetos (CHAVES, SIDES, ANDERSON, 1991). Então, para destacar e visualizar diferentes feições na imagem é importante associar bandas com os menores valores de correlações entre si, porque o grau de semelhança entre elas é baixo. Consequentemente, as coberturas ou unidades geoambientais pertinentes ao mosaico da paisagem costeira das imagens aprimoradas podem se tornar evidentes, destacáveis, de fácil reconhecimento.

Outro parâmetro estatístico gerado pelo software Er Mapper 7.1 (ERMapper, 2009) foi a Análise por Principais Componentes ou PCAs. Estas explicam basicamente a contribuição de cada banda multiespectral no desenvolvimento e formação de imagens geradas pelas Principais Componentes (PCs). Fundamentalmente, elas representam quanto cada banda contribuiu para formação de cada uma das PCs. No cálculo das PCs ou ACPs, boa parte das informações comuns à todas as bandas multiespectrais são concentradas na PC1, portanto, esta, pode agregar a informação pancromática, enquanto que os dados espectrais exclusivos de cada banda se reservam às outras componentes principais (PC2; PC3...). Neste trabalho as primeiras PCs geradas foram importantes para nortear o mapeamento do mosaico da paisagem costeira e as subsequentes para discriminar sedimentos costeiros e realçar as algumas coberturas geoambientais arenosas (CHAVES, SIDES, ANDERSON, 1991).

A análise das Principais Componentes (PCs) é capaz de gerar informações relevantes de como nortear as composições coloridas, uma vez que as mesmas estão diretamente relacionadas com padrões, estrutura e assinatura espectral dos alvos. É de bom senso, seguir um critério lógico, associado ao potencial que cada banda tem em discriminar um objeto, obviamente, nesta pesquisa, a premissa norteadora da seleção dos produtos gerados pelo PDI foi o realce das feições costeiras e porções sedimentares da praia.

4.2.5 Composições coloridas testadas

Sabe-se que o sistema visual humano é sensível a percepção das cores. Por esse motivo, optou-se em realizar vários testes de composições coloridas em triplete de bandas, primeiro no sistema de cor RGB (*Red, Green, Blue*), em seguida no IHS (*Intensity; Hue; Saturation*). Onde o primeiro está associado especificamente a cor e os gradientes de tonalidades produzidos; em contrapartida, o segundo sistema, associa-se as propriedades da cor, como intensidade, cor e saturação (FLORENZANO, 2008).

Logo após os cálculos da estatística de correlação complementados pela análise de PCs dos arquivos *multilayers (.ers)*, enfim, elegeu-se alguns triplete de composições coloridas. Os arranjos potenciais foram:

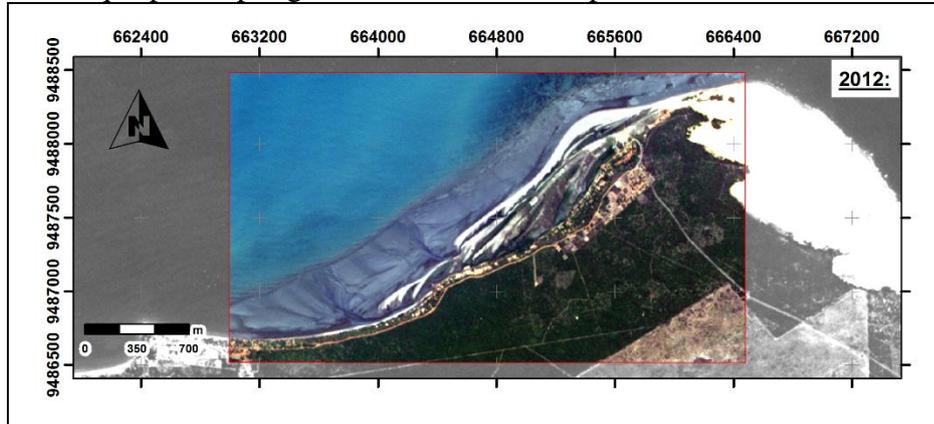
Composição para diferenciação da zona emersa e submersa, R-7 G-4 B-NDWI (TM) e R-7 G-5 B-NDWI (OLI), foi escolhida para vetorização da Linha de Costa escala espacial média e tempo longo (Figura 5).

Razões de bandas implicam na operação de divisão de imagens utilizada para realçar as diferenças espectrais entre um par de bandas, caracterizando determinados aspectos na curva de assinatura espectral de alguns alvos. O uso de razão de duas bandas é um método que favorece, por exemplo, a remoção do efeito de iluminação encontrado em algumas cenas e o reconhecimento sobre a vertente da curva de reflectância (CROSTA, 1992).

Como referencial inicial de controle, o produto *RapidEye/REIS/2012* foi representado pela composição RGB321 (Visível), isto posto, as bandas 3; 2 e 1 foram inseridas respectivamente nos canais de cores do vermelho, verde e azul (Figura 8). Dentro da análise de curto tempo, a utilidade da imagem pode ser justificada porque o uso da mesma não necessitaria de integração com outras imagens em tons de cinza (*falsapan*). Conforme a Figura 9 e a Figura 22, através da comparação as outras imagens processadas, com o controle da *RapidEye* (também em tons de cinza) é possível visualizar que as imagens OLI resultantes da fusão (*FalsapanVisgray*) são praticamente iguais. Por fim, para fazer a transição entre a análise em

tempo curto para médio, optou-se por este produto do ano de 2012.

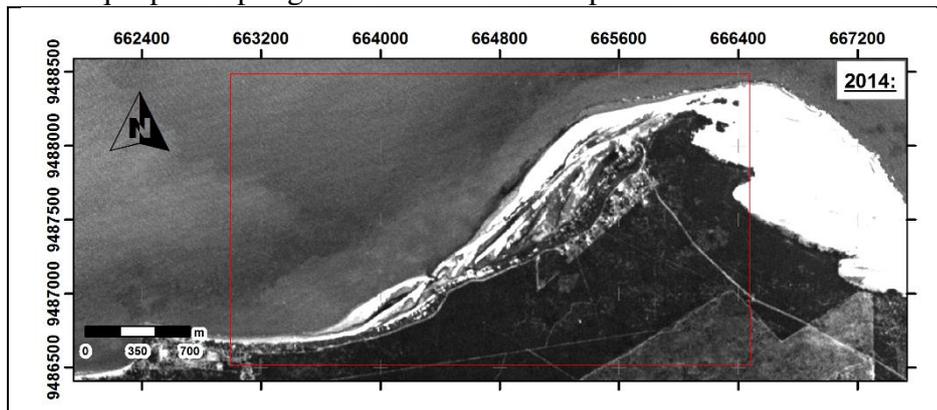
Figura 8 – Imagem RapidEye/ 2012 06 06 REIS RGB 321 (Visível).
Destaque para o polígono vermelho da área piloto.



Fonte: O autor.

Diferentemente do processo anterior, as próximas composições coloridas foram empregadas nos sistemas IHS e RGB associadas aos produtos gerados pelas PCs integrados às imagens em tons de cinza (*visgray ou falsepan*) (Tabela 4; Figura 9).

Figura 9 – Imagem RapidEye. 2014 07 20 REIS VISGRAY (falsepan).
Destaque para o polígono vermelho da área piloto.



Fonte: O autor.

Nesta etapa da metodologia, alguns processamentos e combinações foram fundamentais para buscar o realce dos sedimentos. Em outras palavras, em função da estatística de correlação e identificação da contribuição de uma banda na formação de outra, o uso de imagens PCAs (Principais Componentes) nos arranjos dos tripletes das composições coloridas proporcionaram a mais eficiente diferenciação dos sedimentos arenosos da praia.

4.2.5.1 Fusão OLI/QB/2013 arranjo $i^*HSI PC1PC4PC7$ *(FalsePan)

No canal da cor (*hue*) foi usada a PC1, na saturação (*saturation*) a PC4, na intensidade (*intensity*) a PC7, por fim, usou-se no primeiro canal i^* (*intensity*) a imagem de resolução espacial fina em tons de cinza (*DigitalGlobe/QuickBird*) (Tabela 4).

4.2.5.2 Fusão OLI/REIS/2014 arranjo $RGBi^* PC1PC2PC3$ *(FalsePan)

Nele a PC1 foi inserida no canal do vermelho, a PC2 no verde e a PC3 no azul. No último canal, i^* (*intensity*), a imagem *falsapan visgray* do sensor REIS do Satélite *Rapid Eye* foi integrada a composição colorida (Tabela 4).

4.2.5.3 Fusão OLI/MUX/2015 arranjo $i^*HSI PC3PC2PC1$ *(FalsePan)

Na Tabela 4, este último arranjo “multibandas” combinou o produto *falsapan visgray* (i^* *intensity*) com os tripletes nos canais da cor (PC3), saturação (PC2) e intensidade (PC1).

Muito embora o detalhamento das composições não seja pertinente a sistemática metodológica, é importante adiantar que as justificativas norteadoras da seleção das bandas e das PCAs fundamentaram-se numericamente, na estatística gerada; e qualitativamente, no efeito visual provocado pelo realce dos sedimentos arenosos dispostos na praia notadamente percebidos nos mapas.

4.2.6 Quantificação das coberturas sedimentares em função das áreas de erosão e acreção

A etapa anterior foi de extrema importância para definição de uma “janela” que viabilizasse a espacialização e quantificação das coberturas sedimentares em função das áreas de erosão e acreção. Da mesma forma que no item anterior, a partir da análise da Linha de Costa (LC Total e Setorizada), um polígono ainda menor em uma escala de mapeamento maior (nível de detalhe), com área equivalente a 6.000 km² foi delimitado. Nesta etapa a sistemática metodológica correspondeu a cinco fases:

a) Seleção das cenas próximas as datas de campo:

Em geral, as primeiras pesquisas para aquisição de imagens orbitais se basearam em critérios sazonais, maré e menor porcentagem de cobertura de nuvens para o litoral de Icapuí/CE, além da possibilidade de associação destes produtos com as datas dos campos. No total foram utilizadas dez imagens de múltiplos sensores e plataformas variadas (Tabela 2; Tabela 3; Tabela 4).

b) Filtragem das cenas conforme datas dos diferentes sensores:

Um dos desafios potenciais para quem manipula imagens na perspectiva multitemporal ou em séries históricas é sem dúvida a padronização do tempo e a definição de uma escala razoavelmente adequada.

Em tempo médio para estender a escala temporal da análise foram selecionados produtos da família *Landsat/TM* em intervalos de seis anos. Para avaliação em curto tempo, os produtos escolhidos obedeceram dois critérios: o primeiro; relativo a aproximação entre a data de aquisição das imagens com os dias que foram realizados os levantamentos de campo (2013, 2014 e 2015), já o segundo motivo; implicou na aquisição de imagens pudessem ser fusionadas ou que permitissem a integração de produtos de sensores de média e alta resolução espacial.

c) Arranjo, integração e fusão das cenas de “*multisensores*” (mesma escala de detalhe):

Sob a ótica de redução da dimensionalidade, os produtos previamente georreferenciados, com escala fixada em 1:20.000 (área piloto), foram combinadas gerando uma terceira imagem produto da fusão. Conforme a Tabela 4, para o ano de 2012, foi usada uma única imagem do Sensor Reis; para a 2013 foram combinadas as imagens OLI e *Q.Bird (01/12/2013; *23/12/2013); em 2014 integrou-se imagens dos sensores OLI com *Reis (29/07/2014; *20/07/2014); por último em 2015 a integração gerou o produto combinado OLI/MUX (13/05/2015; *11/04/2015).

Importante lembrar que os produtos TM e OLI usados nos procedimentos supracitados estavam com as bandas de cada cena/ano agrupados em um mesmo arquivo no formato *multilayers* (.ers). Cabe informar que o valor do pixel dos produtos-fusões (2013; 2014; 2015) foi aproximadamente de 5 metros de resolução espacial (Tabela 4).

d) Vetorização e mapeamento das coberturas sedimentares em 2012, 2013, 2014 e 2015:

Com os padrões espaço-tempo definidos (LC setorizada e área piloto), as imagens devidamente pré-processados, composições coloridas testadas e eleitas, alvo sedimentar fielmente realçado pelo PDI, optou-se preferencialmente em realizar vetorização manual.

O método adotado consiste na interpretação das composições coloridas potenciais, auxiliados pela espacialização dos pontos marcados em campo, onde os polígonos são “desenhados” superpondo a cobertura a ser mapeada. Então estes alvos são vetorizados e a geometria que eles adquirem depende exclusivamente da “leitura” e interpretação visual que o analista faz. Nota-se que a delimitação das superfícies arenosas está fundamentada pelos aspectos teóricos da literatura científica, pela feição reconhecida na imagem, por pontos marcados (GPS) e pelas fotografias de campo.

e) Quantificação e espacialização das diferenças (m²) – Deposição e Erosão:

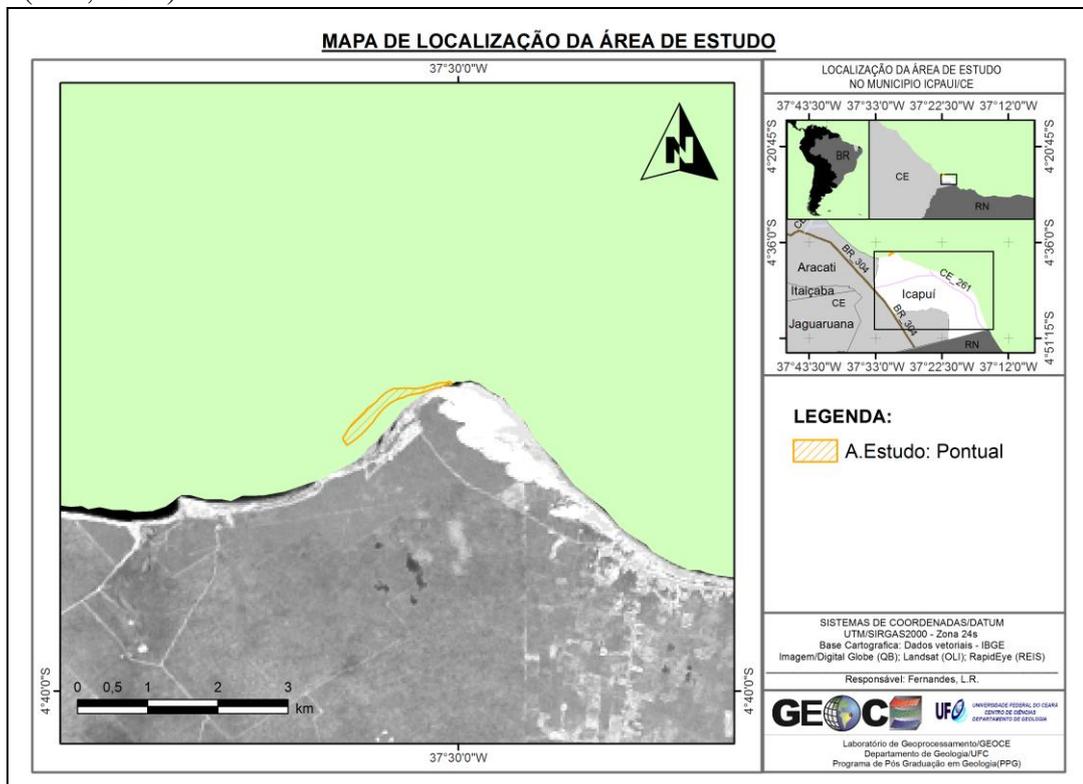
Para a aplicação deste método, os planos de informação representativos das coberturas arenosas foram superpostos em ordem crescente (2012, 2013, 2014 e 2015) manipulados em SIGs. No software de geoprocessamento ArcGis 9.3 (ESRI, 2008), usando uma ferramenta conhecida como “*Symmetrical difference*” (Apêndice B) quando camada antiga é sobreposta a recente, automaticamente, gera-se um arquivo no formato “*shapefile*” com números na tabela de atributos variando acima (+1) e abaixo (-1) de zero (0). Geralmente, quando a modelagem pertinente à álgebra de mapas é feita corretamente, os valores negativos representam as regiões nas imagens que sofreram processos erosivos (diminuição de área sedimentar) e os valores positivos implicam em deposição (ganho de área sedimentar).

4.3 Geodésia de precisão aplicada para quantificação (volume) e análise da dinâmica sedimentar entre 2013 e 2018

4.3.1 Recorte espacial: Áreas de Estudo

A Figura 10 ilustra a localização exata da área pontual onde foram realizados os levantamentos topográficos na Praia de Ponta Grossa. Conforme a Figura 11 é possível visualizar os perímetros realizados em cada campo, já área central de intersecção entre os mesmos e a poligonal representativa das áreas está na Figura 12.

Figura 10 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Escala de mapeamento local: destaque para o polígono amarelo da área Pontual – imagem em tons de cinza (OLI, 2015).



Fonte: O autor.

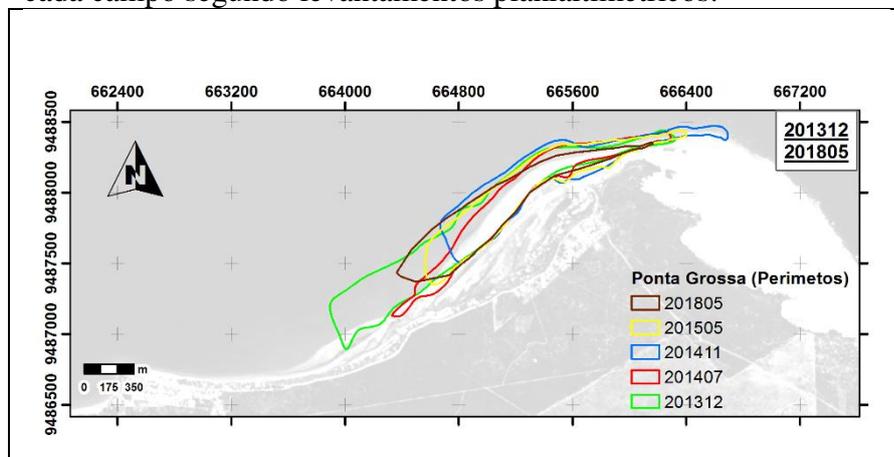
Os levantamentos foram realizados entre 2013 e 2018, distribuídos em cinco etapas de campo (Quadro 1):

Quadro 1 – Datas das atividades de campo conforme intervalo de tempo em meses.

SÉRIE HIST.	INTERVALO	DATAS
Curto tempo	(meses)	(Campo)
2013	0	07/12/2013
2014	7 meses	21 e 22/07/2014
2014	4 meses	28/11/2014
2015	5 meses	25/05/2015
Longo Prazo	(anos)	(Campo)
2018	3 anos	05/05/2018

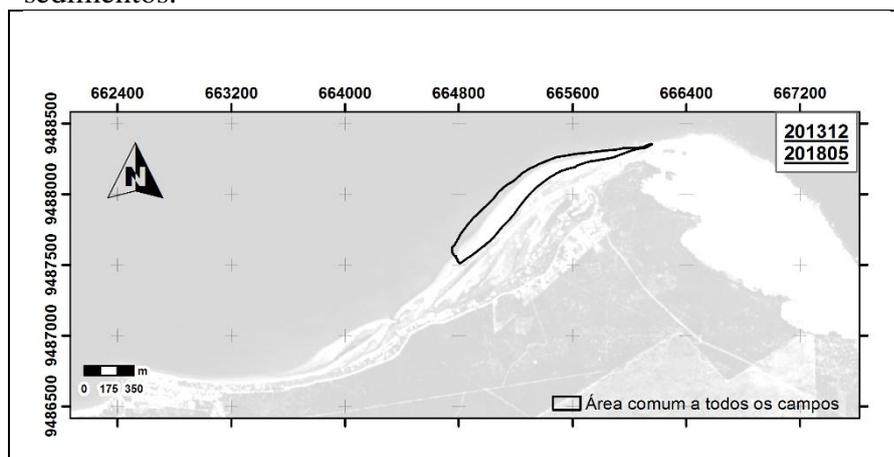
Fonte: O autor.

Figura 11 – Poligonais coloridas conforme perímetro percorrido em cada campo segundo levantamentos planialtimétricos.



Fonte: O autor.

Figura 12 – Poligonal (preta) representativa da intersecção entre todos os campos. Perímetro usado para calcular o volume de sedimentos.



Fonte: O autor.

4.3.2 Marco geodésico – implantação e rastreamento das Referências de Nível

Emergindo das geotecnologias contemporâneas pode-se destacar o Sistema Global de Navegação por Satélite (*GNSS*) que permite a localização geográfica de um ponto em qualquer parte do mundo. Em se tratando de Geodésia de precisão, a qualidade dos produtos cartográficos, a partir do método de posicionamento *GNSS*, são caracterizados pela minimização de erros, elevada acurácia, simplificação e boa operacionalidade de campo. Nitidamente, estes parâmetros implicam diretamente em resultados de alta confiabilidade (SANTOS *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2012).

Obviamente, o método de posicionamento, precisa estar “amarrado” a um referencial fixo e relativamente estável. Neste sentido, trabalhos desta natureza possuem desdobramentos que permitem criar ou aumentar a rede geodésica de uma região qualquer. Por exemplo, esta pode ser representada pela implantação de um marco, no transporte de coordenadas ou no rastreamento das referências de nível (RN) que auxiliem a análise do erro do geóide da praia (região) estudada (SANTOS, *et al.*, 2011; SANTOS, *et al.*, 2012).

O marco implantado na praia de Ponta Grossa serviu como base para todos os rastreamentos (LC/MDE) realizados nos quatro campos executados e para que estes permanecessem sob o mesmo referencial (Figura 13).

Figura 13 – Marco de concreto (60x40x20 cm) implantado na Praia. Base PG001 (E665.157/N9.487.506).



Fonte: O autor.

Conforme Amaro (2012), do ponto de vista técnico, estas estruturas de concreto são peças úteis para viabilizar a aplicação da metodologia no monitoramento do alvo (barra arenosa, cobertura sedimentar) ou na investigação de um processo costeiro local.

4.3.3 Aquisição de dados geodésicos

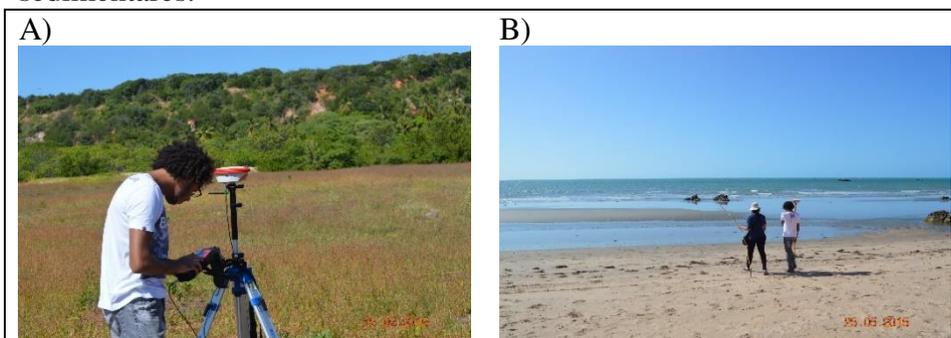
O levantamento planialtimétrico com GPS geodésico, consiste na utilização de dois receptores que coletaram dados, ao mesmo tempo, durante um determinado intervalo de tempo. O primeiro receptor fica instalado em uma estação de referência GNSS fixa denominada “base” (Figura14A), o segundo sobre estação móvel chamada de “rover” (Figura14B).

Estas duas antenas receptoras coletam informação para determinação das altitudes e localização das coordenadas geográficas em função das morfologias observadas em campo adaptado a edição dos MDEs e para determinação da poligonal externa própria dos limites da Linha de Costa (LC).

Os procedimentos para rastreamento nos modos cinemático obedeceram a sete passos:

- a) Montar antena do Fixo -- medir e anotar altura -- configurar coletora -- iniciar rastreamento;
- b) Montar antena do Móvel -- medir e anotar altura -- configurar coletora -- iniciar rastreamento;
- c) Levantamento de campo concluído (LC/MDE);
- d) Móvel/Rover -- parar rastreamento -- salvar rastreamento -- desligar coletora;
- e) Fixo/Base -- parar rastreamento -- salvar rastreamento -- desligar coletora;
- f) Móvel/Rover e Fixo/Base – desmontar e guardar equipamentos.

Figura 14 – A) Base: configuração do equipamento (coletora) para realizar o levantamento. B) Rover: início do rastreamento - caminhamento sobre as superfícies de praia para mapeamento das feições sedimentares.

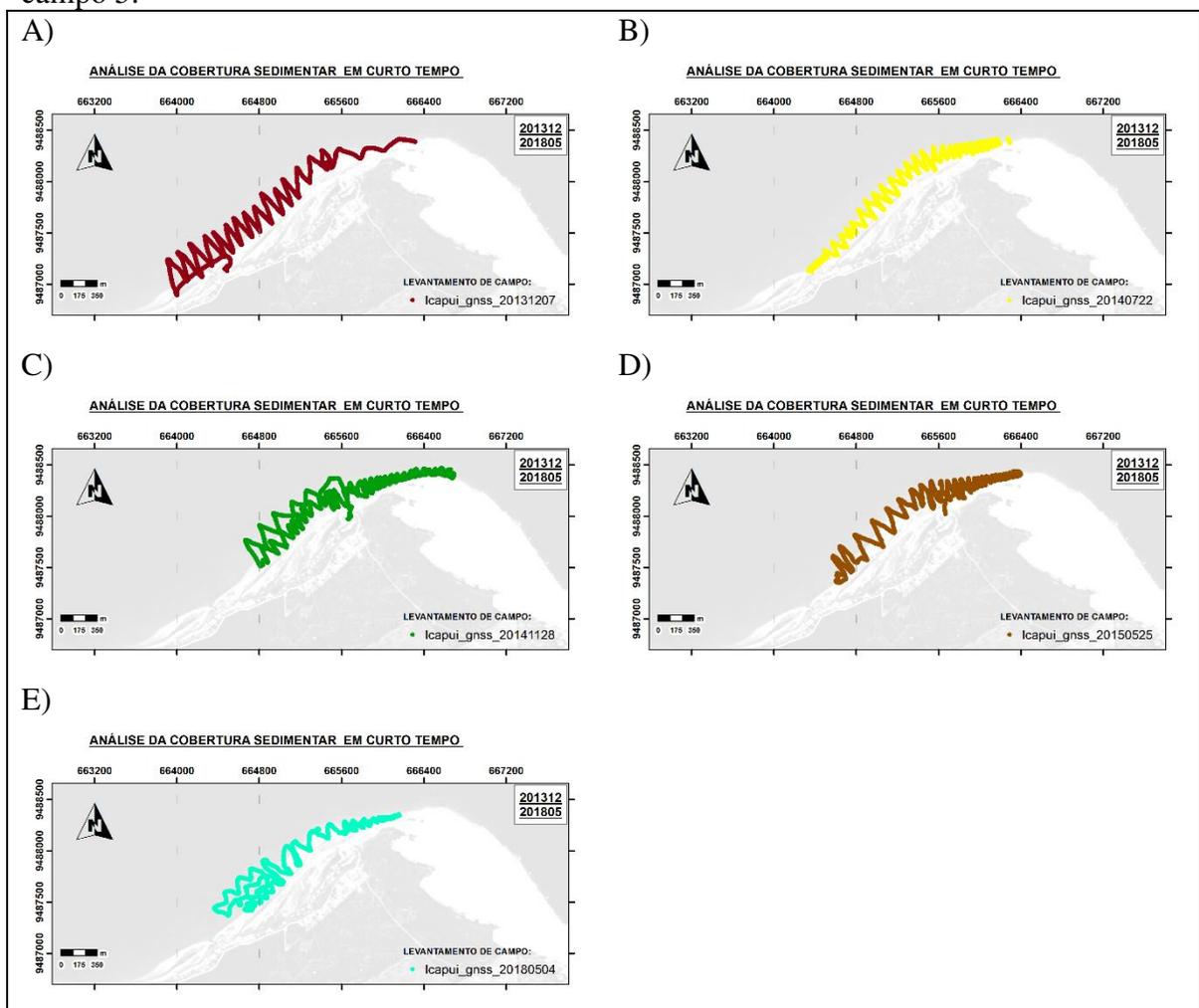


Fonte: O autor.

Nos dois primeiros campos utilizou-se o modelo TRIMBLE e nos dois últimos o GPS geodésico da marca LEICA. Os aparelhos foram configurados para marcar um ponto a cada segundo e os receptores utilizados nas estações foram do modelo *Trimble R3* (etapas de campo 1 e 2) e *Leica GPS 900 CS* (etapas de campo 3 e 4). Estes rastreiam observações da fase da onda portadora na frequência L1 e possuem precisão nominal horizontal de 5 mm + 1 ppm e vertical de 5 mm + 2 ppm (SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2015).

Cabe ressaltar que nos levantamentos topográficos, para a mesma base, foram usadas duas estações “*Rover*”; uma para percorrer o limite externo (LC) das superfícies arenosas e a segunda antena móvel usada conjuntamente para percorrer as feições morfológicas costeiras (MDE). Todos os traçados foram realizados através de caminhadas que duravam em média 4h até que fosse completado o percurso definido no pré-campo (Figuras 15A; 15B; 15C; 15D; 15E).

Figura 15 – Movimento longitudinal em “z” (zig-zag) para identificação das morfologias sedimentares. Respectivamente: A) campo 1; B) campo 2; C) campo 3; D) campo 4; E) campo 5.



Fonte: O autor.

Retomando a Figura 15, o “desenho” da barra arenosa (mais externa) em campo implicou na coleta de pontos planialtimétricos ao longo de perfis longitudinais “cortando” perpendicularmente em movimentos de “z” (*zig-zag*) a interface da zona emersa/submersa ao longo da face de praia (SOUTO *et al.*, 2006). Conforme tábua de maré do dia de campo, a região monitorada e percorrida se estendeu ao máximo na maré baixa, geralmente de quadratura em preamar (SOUTO *et al.*, 2006).

4.3.4 Processamento dos dados geodésicos

Nesta etapa os dados foram processados em softwares exclusivos para cada equipamento. Aos dados da etapa 1 e 2 foi aplicado o *Topcon Tools, versão 7.5.1*, fabricante TOPCON; em contrapartida, os campos 3, 4 e 5 foram processados com *GNSS Solutions versão 3.10.07* fabricante MAGELLAN (SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2015).

O dado bruto gerado pelo GPS geodésico usualmente precisa ser transformado em um formato padrão. O procedimento de conversão, basicamente consiste em importar os dados brutos do cartão de memória das coletoras e transformá-los para o formato RINEX, arquivo relacionado ao intercâmbio de dados em *softwares* de pré e pós-processamento. Com isso, são gerados para cada pasta de trabalho (campos 1, 2, 3, 4 e 5) um arquivo RINEX com duas extensões (“.n”; “.o”), o software usado nesta conversão foi *LEICA Geo Office Combined*. Para o pós-processamento deve-se usar apenas o formato “.o”, ou seja, arquivo de observação.

A etapa do Pós-processamento implica ordenadamente na importação, ajuste, correção das coordenadas do fixo (*Base*) e a partir deste, importação, ajuste, correção das coordenadas do móvel (*Rover*). Cronologicamente, primeiro a base pode ser ajustada pela média das RNs rastreadas, por Posicionamento por Ponto Preciso (PPP/ IBGE) ou pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC/IBGE), em seguida o *Rover* deve ser importado para ajuste, a partir desta “nova” base com as coordenadas preliminarmente corrigida. Desta forma os dados dos quatro campos foram transferidos para o computador, processados e ajustados respectivamente nos softwares *Topcon Tools e GNSS Solutions* (SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2015). Os valores das altitudes geométricas coletadas com GNSS (elipsóide de referência do sistema SIRGAS2000) nos levantamentos de campo foram sucessivamente convertidos em altitudes ortométricas, ou seja, ajustados ao nível médio do mar (AMARO *et al.*, 2012).

Segundo Equação 3, calcula-se a altitude ortométrica (H) de um ponto de qualquer ponto levantado em campo, por meio de uma subtração simples. Basta fazer a diferença entre a Altitude Geométrica (h), determinada com GNSS, e a Altura Geoidal (N), determinadas a partir do Modelo Geoidal do IBGE, o MAPGEO2015 (IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – 2016; AMARO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2015).

$$H = h - N \quad (3)$$

Admitiu-se neste trabalho que o pós-processamento dos arquivos da base (fixo) seria realizado de duas maneiras. O arquivo RINEX dos primeiros campos (07/12/2013 e 22/07/2014) foi corrigido através da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC/IBGE) (IBGE, 2016). Em contrapartida, a base dos três últimos (28/11/2014; 25/05/2015; 04/05/2015) foi ajustada conforme do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP/IBGE) (IBGE, 2016). Sob a ótica estatística, o fim é avaliar os resultados gerados em diversos processamentos.

Por fim o relatório final é gerado. Trata-se de um arquivo no formato bloco de notas (.txt) com os valores das coordenadas, altitudes (X; Y; Z) e os respectivos erros e desvios de cada ponto rastreado em campo.

4.3.5 Relatório de levantamento

Na fase de finalização dos pós-processamento o antepenúltimo procedimento metodológico implica em emitir o resultado final do levantamento em formato de texto (arquivo .txt). No software *GNSS Solutions*, o primeiro passo é selecionar na planilha gerada para visualização dos dados, os pontos a serem exportados. Em seguida seleciona-se o comando exportar. Será aberta uma nova janela de edição onde é possível inserir: o nome do formato de exportação; selecionar cuidadosamente os campos (E ; N ; h ; $Desv_Est$; $Desv_Nort$; $Desv_Alt$) que serão exportados e finalmente salvar o arquivo com nome e diretório conhecidos. Neste trabalho os dados exportados foram os valores as coordenadas (x ; y), altitudes ortométricas (z) com os respectivos desvios (SANTOS *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2015).

No Excel, os dados do arquivo de texto são inseridos, organizados e filtrados para excluir alguma linha ou ponto sem informação. O propósito deste procedimento é preparar o

arquivo de pontos para ser importado no *software* de SIG (ArcGis 9.3). Neste programa a planilha de pontos é transformada em um dado vetorial tipo “*shapefile*” (.shp) de pontos, onde a tabela de atributos do mesmo apresenta as coordenadas x, y e z (ortométrica) para gerar a poligonal da Linha de Costa e criar o modelo digital de terreno (SANTOS *et al.* , 2011; SANTOS *et al.* , 2013; SANTOS *et al.* , 2015).

4.3.6 Monitoramento da cobertura sedimentar e edição dos Modelos Digitais de Terreno

Em ambiente computacional de SIG, com os dados (.txt; .xls) transformados em arquivo vetorial padrão (ESRI, 2008) finalmente é possível extrair os pontos pertinentes a Linha de Costa e transformá-los em shapefile de linha para edição do perímetro das coberturas sedimentares. Da mesma forma, a seleção de pontos representativos da trajetória viabiliza a criação do modelo para visualização tridimensional da superfície sedimentar percorrida no levantamento de campo. Ainda no ArcGis 9.3 (ESRI, 2008) o Modelo Digital de Elevação (MDE) da topografia é gerado pela interpolação por triangulação com uso da técnica TIN (*Triangulated Irregular Network*) (AMARO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2015).

4.3.7 Quantificação dos volumes (m^3) – ganhos e perdas

Conforme as datas dos levantamentos (Quadro 2 e Figuras 15A; 15B; 15C; 15D; 15E), nitidamente, cinco modelos (MDEs) com altitude, perímetro e disposição relativamente semelhantes também foram concebidos (ESRI, 2008). A partir destes dados, foi possível quantificar o volume para de cada modelo, conseqüentemente, calcular, em metros cúbicos, o balanço sedimentar associado aos ganhos e perdas líquidas de um intervalo de tempo para o outro. Basicamente, calculou-se a diferença volumétrica entre dois modelos de superfície (ano antigo menos o recente) que evidenciaram os ganhos e perdas líquidas, ou seja, em azul deposição sedimentar ou em vermelho decréscimo no volume de sedimento. Finalmente, foram editados mapas topográficos e cartas temáticas ilustrativas das diferenças de volume entre os modelos de elevação (SANTOS; AMARO, 2011; SANTOS; AMARO; SOUTO, 2011). Adotou-se a escala fixa de mapeamento em 1:15.000.

O quadro 2, apresenta o resumo dos procedimentos metodológicos segundo Procedimentos, Objetivo, Atividade e Materiais e Equipamentos ou *softwares* usados.

Síntese dos procedimentos metodológicos (Quadro2).

Quadro 2 – Resumo das atividades metodológicas aplicas a etapa do GNSS.

PROCEDIMENTO		OBJETIVO	ATIVIDADE	MATERIAIS/ EQUIPAMENTO
1	Marco geodésico	Georreferenciamento da base	Implantação de um marco de concreto; Rastreamento das RNs	Marco de concreto. GPS de precisão (Trimble e Leica)
2	Aquisição de dados geodésicos	Levantamentos planialtimétricos	Caminhamento na praia - Marcação da Linha de Costa. Identificação das Feições Geomorfológicas.	GPS de precisão Fixo para base e Móvel para o rover (Trimble e Leica).
3	Processamento dos dados geodésicos	Pré e Pós-processamento	Transformação, ajuste e calibração dos dados	Softwares: <i>Topcon Tools</i> ; <i>LEICA Geo Office Combined</i> ; <i>GNSS Solutions</i> ; <i>MAPGEO2015 v1.0</i>
4	Relatório	Relatório (coordenadas ortométricas)	Exportar, organizar e filtrar dados processados (X, Y, Z)	<i>GNSS Solutions Excel2015</i>
5	Mapeamento da LC e Edição dos MDE	Arquivo vetorial de pontos (<i>shapefile</i>)	Edição de camada vetorial (LC); Criação dos Modelos Digitais de Elevação (MDE)	Softwares: <i>ARCGIS 9.3</i> ; <i>QGIS Desktop 2.14.8</i>
6	Quantificação	Quantificar volumes	Analisar e quantificar ganhos e perdas líquidas (m ³) em função das diferenças temporais	Softwares: <i>ARCGIS 9.3</i> ; <i>Excel2015</i> .

Fonte: O autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

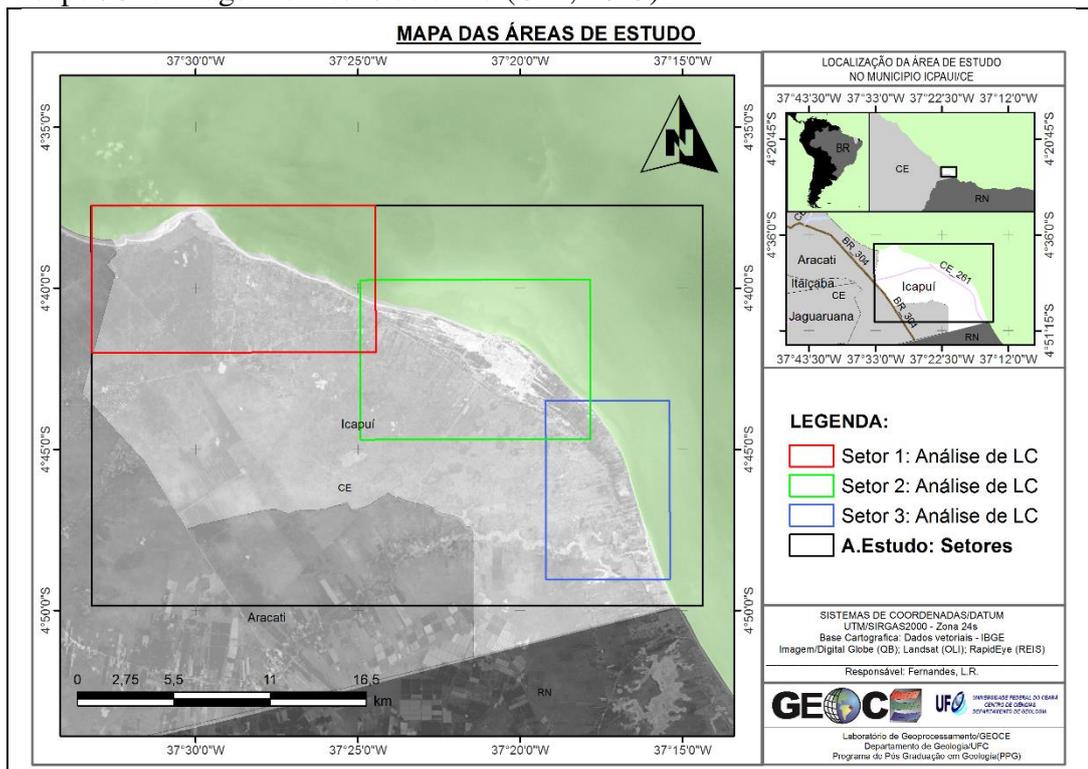
Os resultados foram sistematicamente apresentados segundo dados pertinentes a identificação da cobertura sedimentar, ao mapeamento da feição geomorfológica alvo e a modelagem das diferenças espaciais e temporais.

5.1 Análise da Linha de Costa (LC) para o município de Icapuí (CE) entre 1985 e 2015

5.1.1 Recorte espacial: Setores de Estudo

Como visto anteriormente nos matérias e métodos, a linha de costa foi avaliada em sua extensão total, tal como dividida três setores com a utilização de produtos de sensoriamento remoto da família Landsat sensores TM e OLI em escala média e longo prazo. Os limites de cada setor podem ser vistos na Figura 16:

Figura 16 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Análise de linha de costa pelos Setores 1; 2; 3 e Total: Edição das cartas deposição erosão da costa de Icapuí/CE. Imagem em tons de cinza (OLI, 2015).



Fonte: O autor.

5.1.2 Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada

A primeira análise foi feita para a LC total, posteriormente e respectivamente as LCs do setor leste (3), central (2) e oeste (1) foram apreciadas.

5.1.2.1 Análise de Linha de Costa Total (Icapuí)

A) Entre **1985-1991**: observou-se uma dinâmica costeira ativa, com as áreas de deposição/acresção sedimentar dispostas alternadamente ao longo de toda costa. Mesmo havendo regiões intercaladas, na perspectiva espacial houve significativa predominância das áreas de erosão (Figura 17A).

B) Entre **1991-1997**: o cenário praticamente inverteu, foi possível perceber regiões de avanço da linha da costa, conseqüentemente os processos deposicionais predominaram. Notou-se que o setor leste foi exclusivamente o responsável pelas taxas de erosão deste período (Figura 17B).

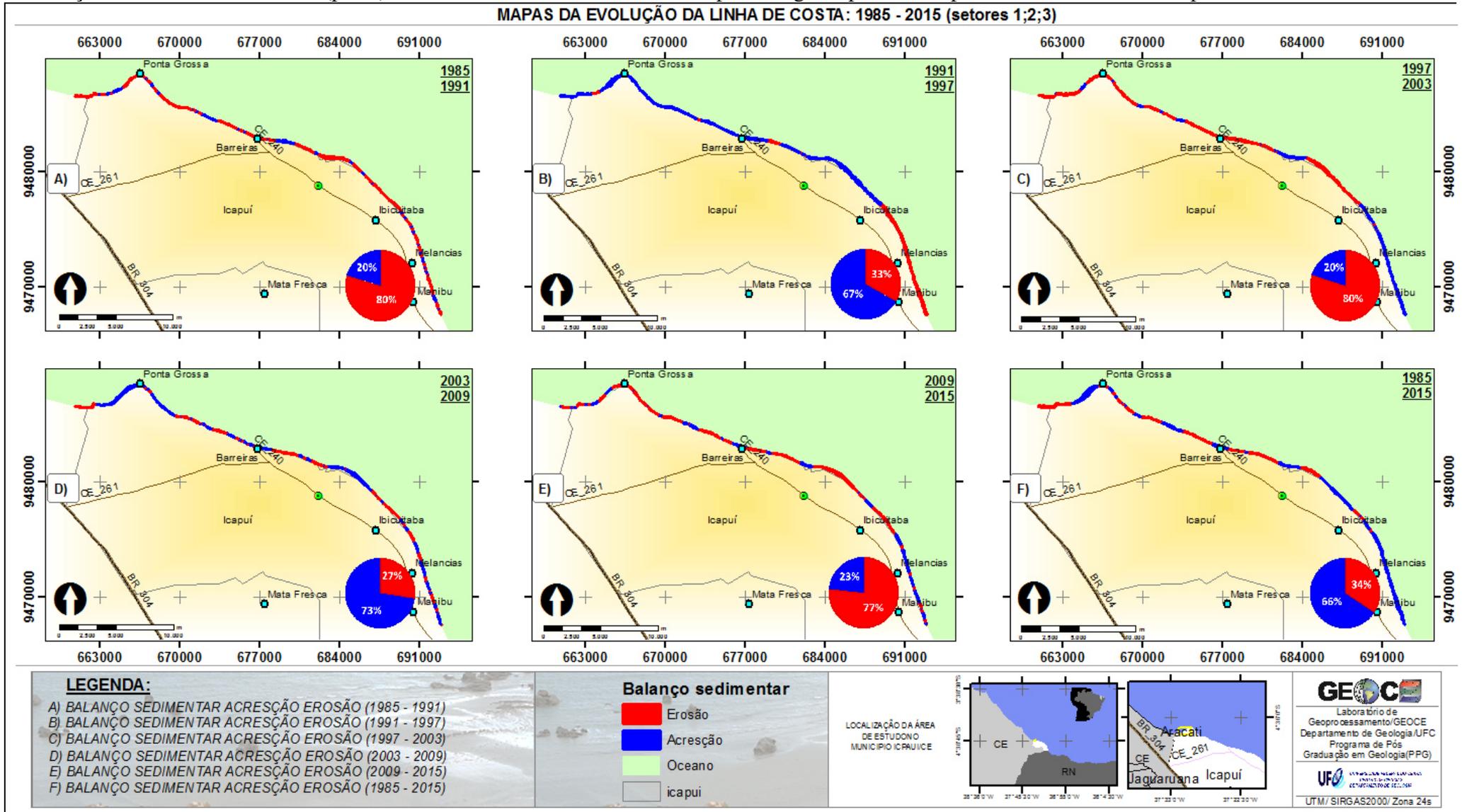
C) Entre **1997-2003**: a paisagem costeira retoma padrões de erosão costeira de leste para oeste (setor 2 para 1), onde a deposição parece ocorrer somente no setor 3 (leste) (Figura 17C).

D) Entre **2003-2009**: do setor 3 para o 1, a paisagem litorânea novamente apresenta regiões de erosão intercaladas com as áreas de deposição arenosa. Visivelmente nota-se ao longo de todo litoral uma descontinuidade dos padrões espaciais. Mesmo assim, qualitativamente há domínio dos processos costeiros que eventualmente tem relação com ganho líquido de área sedimentar (m²) (Figura 17D).

E) Entre **2009 e 2015**: quase que na mesma proporção do período anterior, mas de forma negativa (perda de área de cobertura arenosa), a erosão costeira avança em detrimento da deposição sedimentar. (Figura 17E).

F) Entre **1985-2015**: no último intervalo de tempo, na escala temporal completa, corroborando com a hipótese deste trabalho, os processos deposicionais são desproporcionalmente maiores. Em relação aos padrões de disposição das “manchas” de acréscimo de área (+), a região leste (setor 3) e oeste (setor 1) do município parecem controlar a dinâmica do balanço sedimentar final no tempo e espaço (Figura 17F).

Figura 17 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Total (limite municipal Icapuí/CE): Respetivamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acresção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo.



Fonte: O autor.

5.1.2.2 Análise de Linha de Costa setor Leste (3)

A) **1985-1991:** neste intervalo de tempo inicial, percebe-se que de fato há uma dinâmica costeira bem ativa. No sentido S-N é bastante visível que há alternância de áreas de erosão seguidas por regiões de deposição. Contudo as áreas de cobertura sedimentar de cor vermelha, representativas dos processos erosivos estão nitidamente maiores. Por conta disto, neste intervalo, houve crescimento superficial da cobertura arenosa erosiva (Figura 18A).

B) **1991-1997:** houve neste período um acréscimo integral da erosão costeira em termos de perda de área. Foi o único caso em que a linha de costa de 1997 recuou em relação a 1991, o que implicou em erosão completa para o setor estudado. Eventualmente, como se trata de um padrão incomum pode ter havido alguma extrapolação do método ou limitação da técnica (Figura 18B).

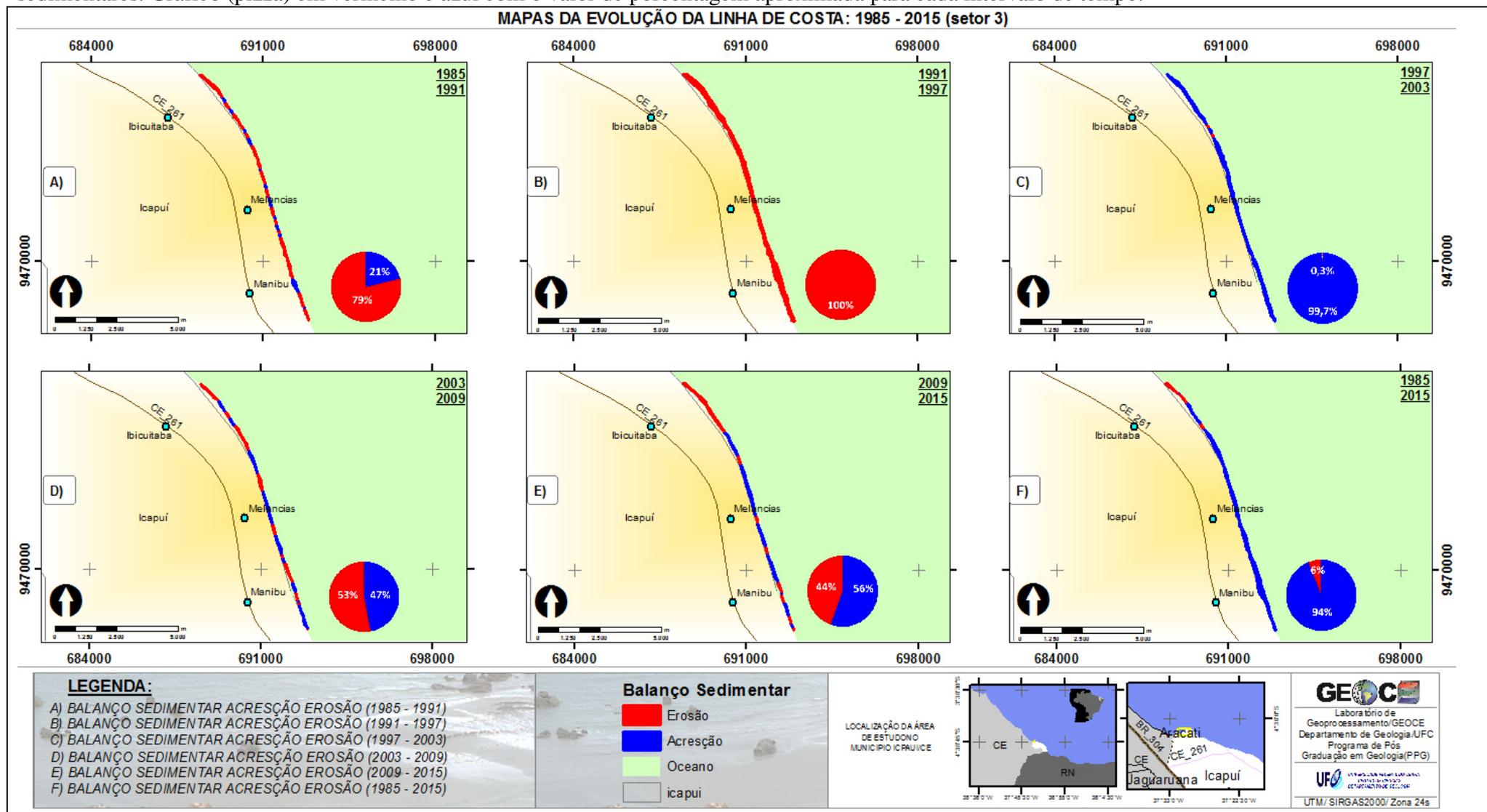
C) **1997-2003:** neste intervalo de tempo aconteceu exatamente o oposto do intervalo anterior, a área de erosão foi fortemente superior aos locais onde potencialmente ocorreu perda de cobertura sedimentar. A semelhança do intervalo anterior, é um padrão tendencioso e pode implicar na limitação do método aplicado (Figura 18C).

D) **2003-2009:** neste período, os padrões intercalados entre regiões de acréscimo de área e redução de cobertura sedimentar tornam a se repetir. Com efeito, existiu uma equivalência nos resultados quali-quantitativos. As manchas de deposição concentram-se ao norte do setor (Figura 18D).

E) **2009 e 2015:** nesta etapa, depois de 6 anos, a cobertura sedimentar volta a ganhar área superficial, de tal modo que os ganhos líquidos são maiores que a redução da aérea. As manchas de deposição concentram-se a na porção norte deste setor (Figura 18E).

F) **1985-2015:** neste último intervalo avaliado, o balanço sedimentar final resultou em ganho sedimentar. Em Trinta anos deste intervalo temporal, espacialmente os setores da praia estão em crescente de ganho de área sedimentar (Figura 18F).

Figura 18 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Setor Leste (3): Respetivamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acreção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo.



Fonte: O autor.

5.1.2.3 *Análise de Linha de Costa do setor Central (2)*

A) **1985-1991:** no intervalo mencionado, foi possível perceber que a linha de costa avaliada apresenta geometria suavemente contínua. Todavia para o período, os resultados ilustram dominância espacial das feições erosivas. Assim como, nos outros intervalos temporais, nota-se visivelmente que a faixa costeira, representado pelo tema de cor vermelha (maiores valores negativos), se estende de leste a oeste sendo “recortada” por algumas interrupções das superfícies deposicionais. Neste período, a erosão costeira parece estar concentrada espacialmente sobre a região do estuário (Figura 19A).

B) **1991-1997:** neste intervalo, o mosaico da paisagem costeira composta pelas coberturas acresção e erosão apresenta-se heterogeneamente complexo sobre o litoral. A indicação da região que pode ter sofrido com erosão sedimentar se restringe a uma pequena área na porção leste. Há uma expressiva continuidade área coberta pela acresção, além de ter havido um sugestivo “engoradamento” da área de acresção. Foi o período em que a linha de costa entre 91 e 97 mais avançou (Figura 19B).

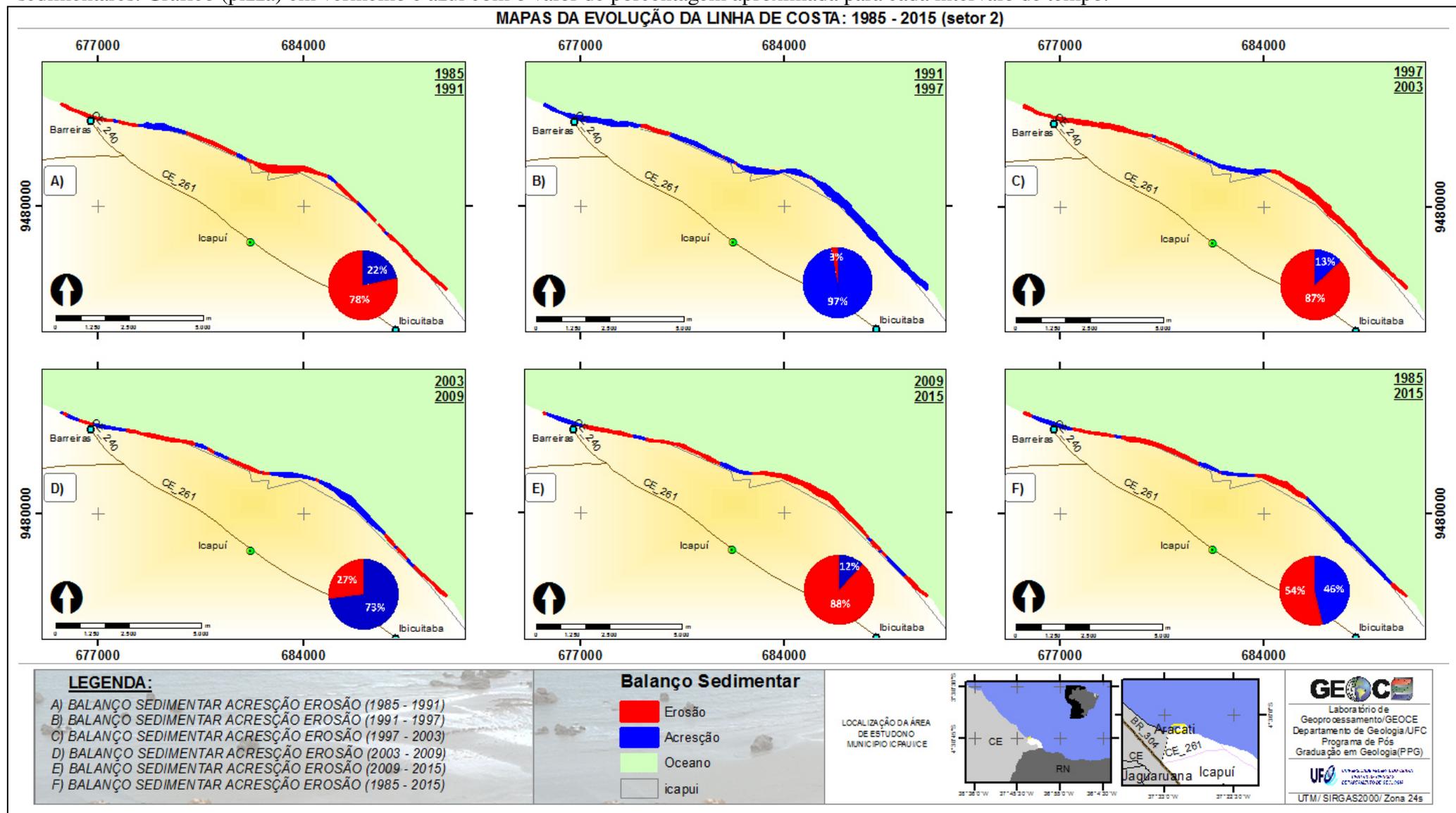
C) **1997-2003:** neste período, a erosão costeira foi preponderante em relação ao período anterior. Curioso perceber que a única região onde ocorreu deposição está localizada sobre a região do estuário. A resistência da área ao avanço da erosão sobre a costa pode ser descrita ocasionalmente pelo aporte de sedimentos originários da deposição estuarina (Figura 19C).

D) **2003-2009:** no sentido E-W as variações de linha de costa deste intervalo resultaram novamente na acresção de área intervalados pelas manchas de feições erosivas. Mesmo com uma aparente distribuição espacial equivalente, a área de acresção foi bem maior que as regiões impactadas pela erosão (Figura 19D).

E) **2009 e 2015:** o recuo da LC em 2015 em relação a 2009, resultou maiores valores negativos para o setor. De tal modo que a relação erosão x acresção implicou em nova perda de área sedimentar. A linha de costa na porção SE e NW compõe juntas a superfície erosiva. O ganho em área, novamente esteve associada a entrada de sedimentos pelo estuário (Figura 19E).

F) **1985-2015:** Finalmente, para o intervalo final (30 anos) dois aspectos foram percebidos para o setor. O primeiro está relacionado com “revezamento” dos processos erosivos-deposicionais, ou seja, alternadamente de 6 em 6 anos ocorrem processos costeiros construtivos que implicam em deposição, em contrapartida no período subsequente ocorre erosão (Figura 19F).

Figura 19 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Setor Central (2): Respectiveamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acresção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo.



Fonte: O autor.

5.1.2.4 Análise de Linha de Costa do setor Oeste (1)

A) **1985-1991**: a princípio, assim como no setor 2, este intervalo temporal apresenta superioridade de perda de área de cobertura sedimentar ao invés de ganho. No sentido W-E percebe-se que as regiões onde a linha de costa recuou foram maiores o que pode implicar em impactos vinculados ao problema da erosão dominante. Contudo para restrito setor adjacente à praia de Ponta Grossa houve deposição (Figura 20A).

B) **1991-1997**: neste intervalo houve mudança nos padrões em relação ao intervalo acima. Com expressivo ganho em área de cobertura sedimentar (balanço positivo) pode-se afirmar que o avanço da linha de costa de 91 para 97 foi acentuado. Além do “engordamento” (em área) da praia na região de Ponta Grossa, toda LC também avançou (Figura 20B).

C) **1997-2003**: semelhantemente ao que ocorreu entre 85 e 91 o cenário implicou no domínio espacial das áreas correspondentes aos processos erosivos. Obviamente, a LC da costa voltou a recua o que implica balanço negativo maior, com potencial perda sedimentar ao longo da costa. Mesmo assim, parece ter ocorrido deposição no setor praial de Ponta Grossa (Figura 20C).

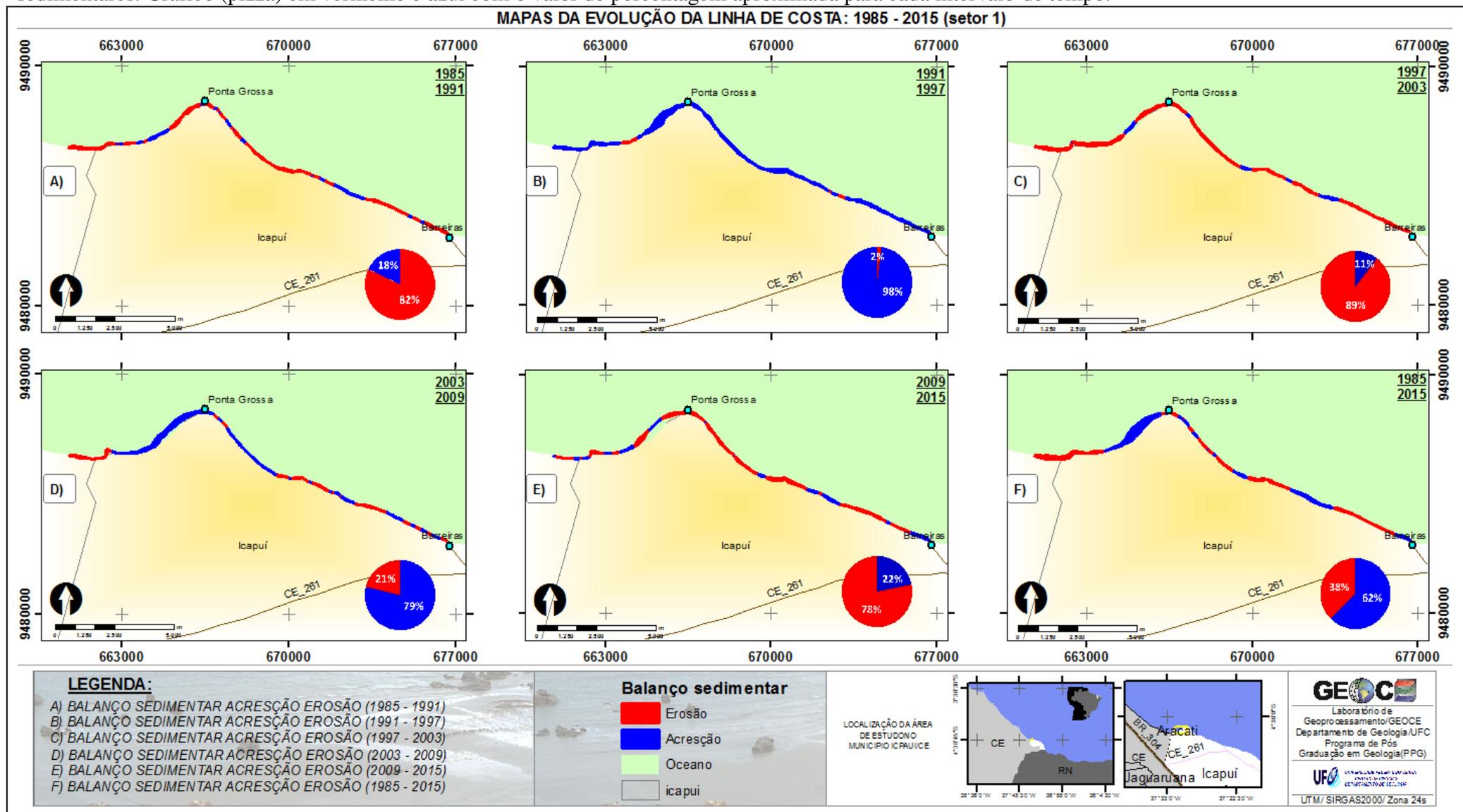
D) **2003-2009**: em uma proporção relativamente menor em comparação aos anos de 91 e 97, em contrapartida ao cenário do intervalo anterior (97-03), as manchas das áreas de acreção dominam a paisagem analisada. Percebe-se claramente que houve avanço da LC (03-09) porque tanto sobre a duna móvel sobre o promontório rochoso de ponta grossa como para a praia a leste do pontal rochoso cresceu significativamente em área (Figura 20D).

E) **2009-2015**: neste penúltimo intervalo, a erosão costeira sobre o setor volta a ocorrer majoritariamente. As pequenas manchas de áreas de acreção estão dispostas sobre uma faixa litorânea predominante erosiva, sobre os subsetores onde LC recuou. Novamente percebe que localmente na região da praia de ponta grossa, a dinâmica “resiste” com evidências de ganho de área de cobertura sedimentar (balanço positivo) (Figura 20E).

F) **1985-2015**: visivelmente percebe a predominância dos padrões espaço-temporais pertinentes à classe acreção. Pontualmente, neste setor, a praia de Ponta Grossa bem como a duna de areia adjacente a mesma apresenta um padrão diferenciado: mesmo que os intervalos multitemporais apresentados confirme a ocorrência frequente de área associadas a erosão costeira, os cordões arenosos: a duna móvel e a própria dinâmica sedimentar da Praia de Ponta Grossa sustentam elasticamente os padrões de aumento em área ou avanço da linha de costa. O aporte sedimentar para balanço positivo neste setor parece ser controlado pela dinâmica ativa por vezes inativa e em processo de estabilização de dois “sub-setores”. No sentido E-W,

a primeira “sub-área” se estende da localidade de Barreiras até a base (superfície de deflação) do campo de duna móvel sobre o promontório rochoso da praia de Ponta Grossa. Continuando no sentido E-W, a segunda “sub-área”, inclui toda extensão deste campo de dunas até o início do Setor Oeste. Reiteradamente, a hipótese do trabalho testada e validada, confirma ganho representativo do acréscimo de área de cobertura sedimentar no intervalo total deste setor (Figura 20F).

Figura 20 – Mapeamento da linha de Costa Total e Setorizada entre 1985 e 2015. Análise da linha de costa Setor Oeste (1): Respectivamente nos intervalos A) 1985-1991; B) 1991-1997; C) 1997-2003; D) 2003-2009; E) 2009-2015; F) 1985-2015. A cor vermelha ilustra a área de erosão e azul acresção das feições sedimentares. Gráfico (pizza) em vermelho e azul com o valor de porcentagem aproximada para cada intervalo de tempo.



Fonte: O autor.

5.1.3 Quantificação das áreas de acrescerão e erosão da cobertura sedimentar superficial (LC Total e LC Setorizada)

Antigas linhas de costa desenham o mosaico heterogêneo da paisagem, reflexos de uma intensa dinâmica pretérita e contemporânea dos padrões espaciais das feições eólicas, litorâneas e praias. Eventualmente podem existir extrapolações geradas pelo processamento de dados que não condizem com a realidade natural, devido obviamente, as limitações dos programas. Contudo, probabilidades que configuram alterações dos atributos do meio ambiente através do território geográfico podem auxiliar o entendimento de como os sistemas naturais evoluem a luz dos promissores modelos computacionais (CROSTA, 1992).

Diante de resultados gerados por diferentes técnicas (análise multi-tempo-espço) será possível testar se a hipótese do trabalho é válida (ou não), ou seja, verificar se variações de as LCs ativas ou em processo de estabilização implicam em ganho de área superficial ao invés de erosão e perda de sedimentos.

Mesmo assim, observando a Figura 6, principalmente em função da resposta espectral da areia realçada nos depósitos costeiros (praia) e eólicos (duna) em tons amarelados e principalmente pela discriminação da zona emersa da submersa, é plenamente razoável reconhecer que a classificação supervisionada do tipo “*MaxVer*” usada nesta etapa, viabilizou a produção de cartas temáticas representativas das Linhas de Costa Total e Setorizadas da análise multitemporal entre 1985 e 2015. Não há dúvidas que tudo que foi realçado pela cor azul (oceano e águas continentais) são representativos dos recursos hídricos da paisagem estudada.

Embora a escala de mapeamento tenha aumentado com recorte espacial de uma área menor (L.C. total para L.C. setorizada), as limitações dos métodos permitem sugerir que os resultados gerados quando discutidos, podem ser considerados complementares, ou seja, não são excludentes (SOUZA *et al.*, 2016). Em síntese, a leitura dos dados em múltiplas escalas (tempo-espço), contribuiu para fechar lacunas sobre o balanço sedimentar entre erosão e deposição no contexto da dinâmica da paisagem costeira. Em “exceção à regra”, no Oeste (1), existem padrões de disposição da cobertura sedimentar e composição da paisagem costeira que permanecem independentemente das escalas de mapeamento.

Em uma perspectiva geral, a dinâmica de transições das coberturas sedimentares em função das modificações constantes nos padrões de deposição e erosão da paisagem costeira deste recorte espacial, permitem entender que algumas regiões, subsetores, subzonas, e até mesmo algumas praias, parecem exercer maior influência no controle da dinâmica costeira em

relação ao recuo ou avanço da linha de costa sobre o continente.

Conforme a Tabela 5, o somatório das áreas com maiores taxas de deposição pertencem aos intervalos de 1991-1997 e 2003-2009, respectivamente com valores de área em torno de 2.389.584 m² e 1.072.367 m². Opostamente, entre 1985-1991; 1997-2003; 2009-2015 obtém-se os maiores valores acumulados pertinentes a erosão, com área igual a 1.105.022 m²; 2.901.421m²; 1.196.221m², respectivamente. Neste contexto, da mesma forma que observado nos mapas de LC (Figuras 17; 18; 19; 20) a quantificação (Tabela 5) da área em relação ao balanço sedimentar total e por setor sugere que parece existir alternância entre os períodos erosivos/destrutivos e os deposicionais/construtivos.

Ainda conforme a Tabela 5 do Balanço sedimentar final, analisando os valores cumulativos de erosão/acresção apenas por Setor (Total; S3; S2; S1), nota-se que a quantificação em metros (m²) revela que os valores das áreas de erosão somadas em todos os intervalos da análise multitemporal são maiores para a área total, para o setor 3 e 2. Mesmo assim, ao se considerar apenas o setor Oeste (1) existe na diferença entre os valores de acresção-erosão um ganho fortemente elevado de 537.064m². Então em uma visão “quantitativamente” simplista; a diferença de 537.000 m² permite confirmar que há um cenário positivo de ganho em área para o Setor 1 consequentemente é aceitável dizer que a hipótese testada é verdadeira.

Tabela 5 – Balanço sedimentar final por intervalo de tempo e por setores da Linha de Costa em função da quantificação em metros (m²) das áreas de erosão e acresção sedimentar.

(BALANÇO TOTAL POR PERÍODO)				(BALANÇO TOTAL POR SETOR)			
Período	Acresção (m ²)	Erosão (m ²)	Diferença (A-E)	Setor	Acresção (m ²)	Erosão (m ²)	Diferença (A-E)
1985-1991	282032	1105022	-822990	TOTAL*	6352524	7591939	-1239415
1991-1997	2389584	1189355	1200229	S3	1363996	3041380	-1677384
1997-2003	727580	2901421	-2173841	S2	2428236	2527331	-99095
2003-2009	1072367	405476	666891	S1	2560292	2023228	537064
2009-2015	364828	1196221	-831393				
1985-2015	1516134	794443	721690				

* área total corresponde a análise integral (LC do S3+S2+S1).

Fonte: O autor.

Conforme Figura 20, a primeira região (subzona Barreiras – de Barreiras até a superfície de deflação da duna), oportunamente, pode ser considerada como a zona mais ativa no que se refere a transição intercalada das áreas de erosão versus acresção. Já segunda região (subzona Ponta Grossa – do campo de duna até o início do setor Oeste), muito embora nela exista ênfase na ocorrência de erosão, apresenta maior frequência dos processos relativos a

acresção sedimentar. Pontualmente, o trecho da praia de Ponta Grossa mantém uma dinâmica sedimentar com um padrão estável de aumento de área.

Como em Amaro; Ferreira (2012), utilizando séries temporais do Índice Oceânico *Niño* (ONI), semelhante ao Multivariado *El Niño* Oscilação Sul (IME), segundo o Quadro 3, períodos de calor e frio com base em um limiar de +/- 0,5°C denotam fortes eventos de *La Niña* (valores em azul) ou *El Niño* (valores em vermelho). Basicamente, o ONI é uma medida do IME, onde a cada três meses os valores médios para altas e baixas temperaturas são apresentados conforme estes períodos ao longo de 12 meses. A Influência dos fenômenos *El niño* e *La niña* no balanço sedimentar (LC Total e LC Setorizada) podem estar relacionados com os eventos deposicionais segundo *La Nina* ou erosivos conforme *El nino* (ALLAN; ANSELL, 2006).

Quadro 3 – Variação de temperatura em função dos eventos de El Nino e La nina. Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA).

Ano	Dez/ jan/ fev	Jan /fev/ mar	Fev/ mar/ abr	Mar/ abr/ maio	Abri/ mai/ jun	Mai/ jun/ jul	Jun/ jul/ ago	Jul/ ago/ set	Ago/ set/ out	Set/ out/ nov	Out/ nov/ dez	Nov/ dez/ jan
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6

Fonte: Adaptado USGS (2018). Serie completa desde 1950 até 2018 (APENDICE A)

A análise do ONI (USGS, 2018) integrado ao recuo ou avanço da linha de costa em resposta aos intervalos multitemporais (1985-1991; 1991-1997; 1997-2003; 2003-2009; 2009-2015; 1985-2015), foi apreciada segundo a Tabela 2. Onde o referencial temporal inicial foi a data de aquisição das imagens TM e OLI (#27/07/1985; #15/08/1991; #02/10/1997; #15/07/2003; #31/07/2009; #01/08/2015).

Conforme os mapas das Figura 17 (A; B; C; D; E; F) os períodos de predominância erosão acresção estão claramente intercalados. Onde entre 1985-1991 há Erosão; em 1991-1997 Deposição; em 1997-2003 Erosão; 2003-2009 Deposição; 2009-2015 Erosão e entre 1985-2015 há novamente Deposição. Segundo o Quadro 3; pode-se dizer que houve predominância (meses) para: 1985 *La niña* (Deposição); 1991 *El niño* (Erosão); 1997 *El niño* (Erosão); 2003 sem alterações extremas (+/- 0,5°C); 2009 *El niño* (Erosão) e 2015 *El niño* (Erosão) em doze meses. Fazendo uma comparação direta percebe-se que a ocorrência dos fenômenos de *El nino*

e *La nina* conforme o ONI, não responderam com valores positivos (aquecimento) ou negativos (esfriamento) ao mesmo padrão alternado observado da Figura 17 (LC Total).

No que se refere a oscilações dos fenômenos *El Niño*, *La Niña* apenas o Setor 2 (Central) da análise de LC (Figura 19), apresentou variações negativas (erosão) e positivas (acresção) em períodos e proporções semelhantes ao ONI *index*.

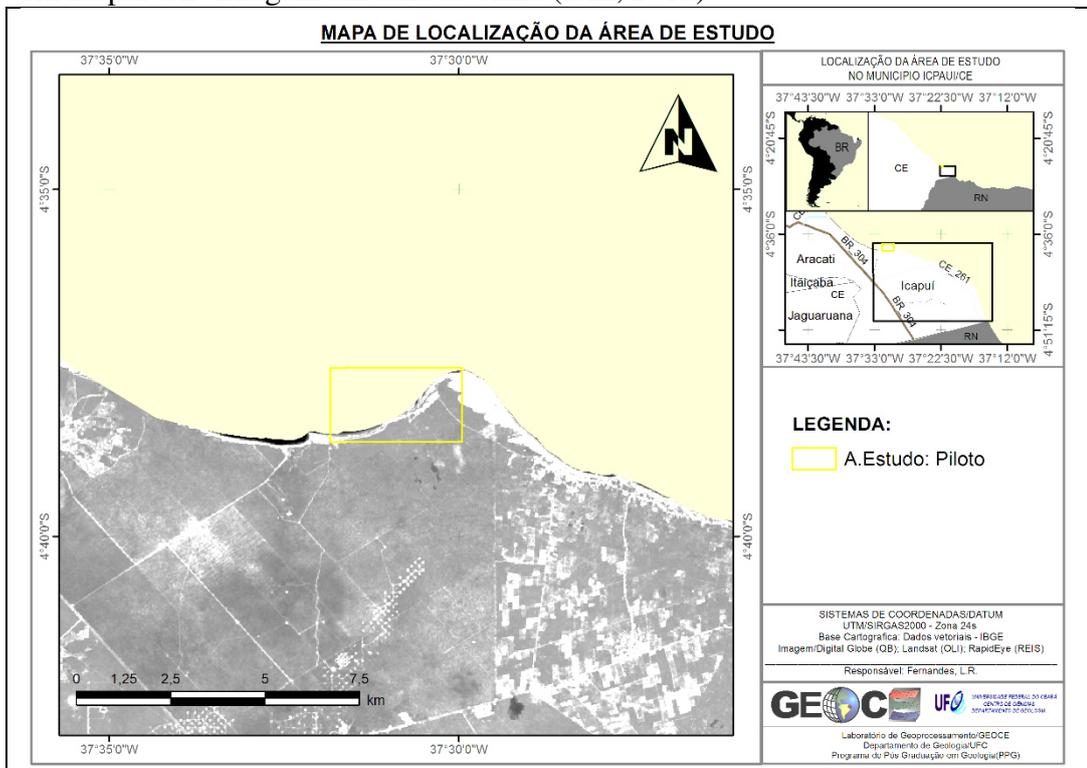
Evidentemente, que os resultados aqui demonstrados implicam em uma simples análise de variação de linha de costa em função da mudança de posição da mesma de um tempo inicial para um final. A metodologia foi eficiente para avaliar áreas em pequenas escalas (municipais ou regionais), contudo tal limitação não permite anular com convicção a hipótese levantada neste trabalho. É uma técnica razoavelmente restrita para assegurar se de fato existe deposição sedimentar ao longo dos setores avaliados. Por esta razão, há necessidade de aumentar a escala de trabalho para além da variação de linha de costa, quantificar a cobertura sedimentar como um todo.

5.2 Sensoriamento remoto para quantificação (área) e análise da dinâmica sedimentar entre 2012 e 2015

5.2.1 Recorte espacial: Setores de Estudo

Como visto anteriormente na metodologia, a escala de mapeamento definida para esta etapa limitou-se espacialmente à uma pequena área inserida no setor Leste da análise de linha de costa da paisagem. Aqui a mudança de escala temporal não foi restrita somente as variações de LC e respectivas áreas de erosão e acreção em pequena escala e tempo longo, mas o detalhamento teve por finalidade demonstrar os resultados obtidos na quantificação superficial da cobertura sedimentar em um trecho da praia (Figura 21), obviamente agora em escala de detalhe e tempo curto.

Figura 21 – Janelas de recorte espacial da área de estudo. Localização da área piloto (retângulo amarelo) para mapeamento das feições sedimentares da região costeira em Icapuí/CE. Imagem em tons de cinza (OLI, 2015).



Fonte: O autor.

5.2.2 *Produtos cartográficos potenciais*

Os arranjos espaciais das feições geomorfológicas e geológicas, a dinâmica temporal da superfície sedimentar, as perdas e ganhos de área e volume apresentados nos mapas, são respostas frente aos processos sedimentares naturais ou antrópicos. Os produtos cartográficos gerados a partir da aquisição e manipulação de imagens, tem por finalidade garantir o entendimento desses processos dinâmicos, responsáveis por boa parte das transições ocorridas no mosaico da paisagem costeira da área de estudo.

5.2.3 *Produtos falsapan – imagens VISGRAY*

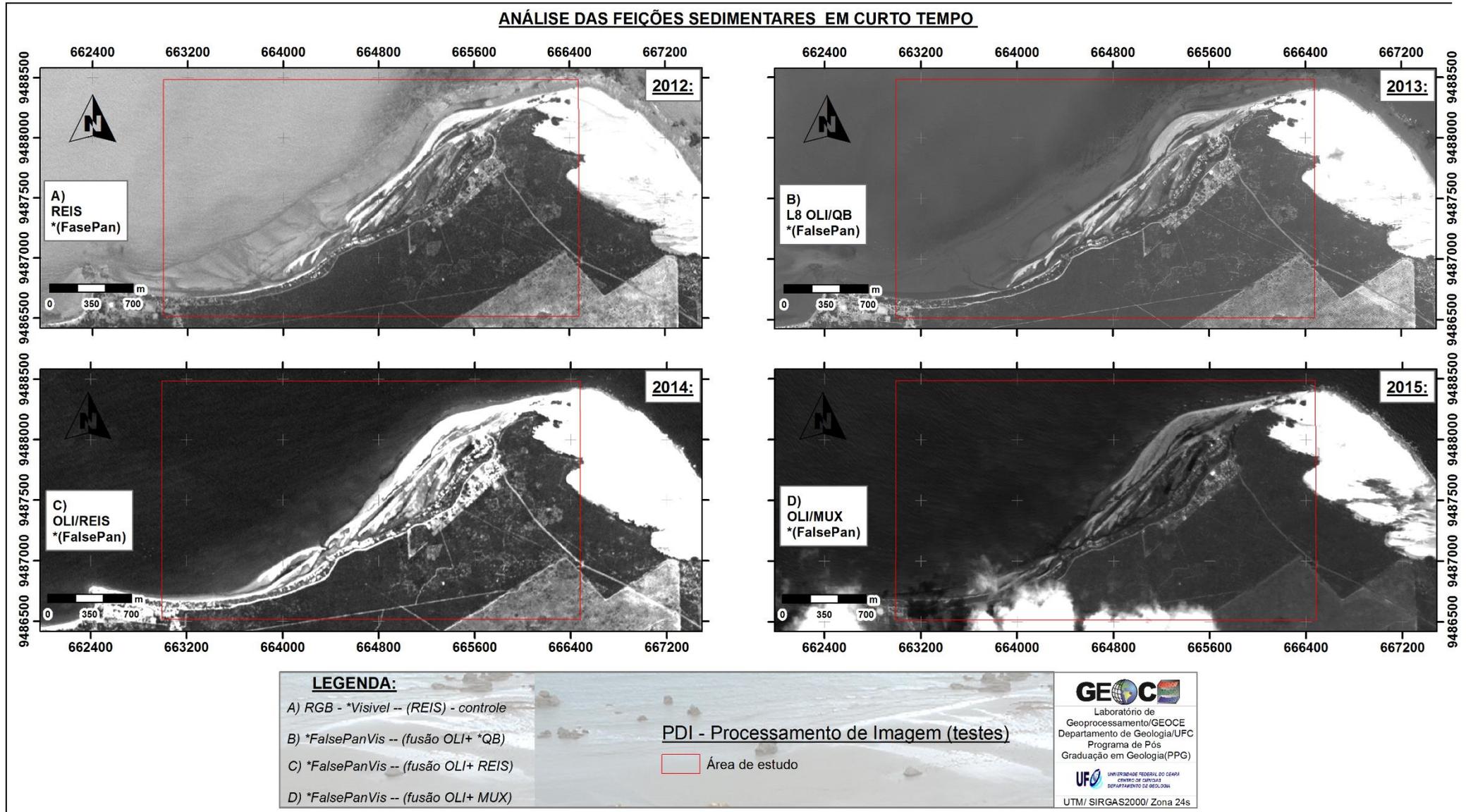
Resumidamente, as bandas dos sensores multiespectrais foram associadas a imagens retificadas, na faixa do visível salvas em tons de cinza (semelhante a uma imagem pancromática). Sendo assim, com o objetivo de viabilizar a integração dos dados na mesma resolução espacial e escala de mapeamento fixa, admitiu-se para este trabalho algumas modificações segundo a Tabela 4 e a Figura 21 (A; B; C; D) lista as imagens *VISGRAY* produzidas em tons de cinza.

Obviamente, a vantagem da aplicação deste método implica diretamente em agregar valor relativo à melhoria na resolução espacial desta quando comparados com a imagem original. Que por sua vez, mesmo em tons de cinza, permite melhor discriminação de feições litorâneas como depósitos litorâneos, depósitos eólicos, faixa de praia, vegetação e oceano.

Rigorosamente condicionados pela data de aquisição, como mostra a Figura 22, ao se obter produtos orbitais multiespectrais, geralmente utilizados para monitoramento costeiro de grandes áreas em pequenas escalas, nem sempre é possível analisar em detalhe processos costeiros em múltiplas escalas. Encontra-se nesta técnica um sutil “manobra” para de forma rápida e eficiente integrar imagens de alta resolução espacial (em tons de cinza) às imagens de alta resolução espectral. Absolutamente não está se dizendo que originalmente as fusões em sistemas HSI foram ineditamente produzidas neste trabalho, é logico que não foram. Contudo, até o momento, parece que o uso das imagens denominadas *FalsaPan* não são comuns.

Por fim, este procedimento produzido, testado e experimentado, parece de fato ter sido primariamente concebido para atender aos objetivos e responder a hipótese da Tese.

Figura 22 – Resultado da Aplicação de técnicas de PDI. Falsa pancromática região do visível em tons de cinza. A) VISGRAY 2012; B) VISGRAY 2013; C) VISGRAY 2014; D) VISGRAY 2015. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha ilustra a área de estudo para realce das feições sedimentares.



Fonte: O autor.

5.2.4 Matrizes de correlação – Análise principais componentes (PCA)

Geralmente em Sensoriamento Remoto, a análise de Principais componentes (PCAs) é usada para identificar as bandas (EEM) que possuem baixas ou altas correlações entre si. Basicamente, baixa correlação entre bandas implica menor grau de semelhança o que pode favorecer o realce de diferentes alvos, logo, maximizar a discriminação da heterogeneidade espacial da paisagem costeira.

Procedimento bastante utilizado para identificação da interface zona emersa e submersa, para definição de limites topológicos e reconhecimento de bordas em vegetação.

A interpretação das matrizes de dados foi elucidativa para avaliar a correlação entre bandas, a participação/ contribuição das bandas na formação de outra e finalmente nortearam a organização dos triplete de bandas na sistematização das composições coloridas produzidas no PDI. A estatística das bandas foi calculada para todas as imagens fusionadas, os dados resultantes estão apresentados nas Tabelas 6; 7; 8; 9; 10; 11. Nas matrizes de correlação, os valores destacados de cor azul implicam na tendência de alta correção entre bandas próximas. Nas planilhas de contribuição das PCs, os valores em azul referente a coluna da PC1, evidenciam que ela é efetivamente formada com a participação equitativa de todas as bandas, e os números demarcados em vermelho a maior participação de uma banda na formação da respectiva PC. Cabe lembrar que valores próximos a 1 indicam que há forte correlação ou boa participação. As planilhas geradas foram (Tabelas 6; 7; 8; 9; 10; 11):

Tabela 6 – Matriz de correlação entre as Bandas do sensor OLI (2013).

Corr Matrix	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1	1.000	0.998	0.985	0.964	0.897	0.830	0.878
B2	0.998	1.000	0.992	0.974	0.906	0.834	0.880
B3	0.985	0.992	1.000	0.993	0.940	0.871	0.908
B4	0.964	0.974	0.993	1.000	0.963	0.902	0.930
B5	0.897	0.906	0.940	0.963	1.000	0.969	0.966
B6	0.830	0.834	0.871	0.902	0.969	1.000	0.987
B7	0.878	0.880	0.908	0.930	0.966	0.987	1.000

Statistics for Dataset:

LC82160632013335LGN00_20131201_MERGE.ers

Fonte: O autor.

Tabela 8 – Matriz de correlação entre as Bandas do sensor OLI (2014).

Corr Matrix	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1	1.000	0.997	0.982	0.961	0.895	0.861	0.908
B2	0.997	1.000	0.991	0.975	0.908	0.871	0.918
B3	0.982	0.991	1.000	0.994	0.940	0.908	0.946
B4	0.961	0.975	0.994	1.000	0.957	0.929	0.961
B5	0.895	0.908	0.940	0.957	1.000	0.979	0.975
B6	0.861	0.871	0.908	0.929	0.979	1.000	0.989
B7	0.908	0.918	0.946	0.961	0.975	0.989	1.000

Statistics for Dataset:

LC82160632014210LGN00_20140729_MERGE.ers

Fonte: O autor.

Tabela 7 – Contribuição das Principais Componentes entre as Bandas do sensor OLI (2013). Para os valores negativos, considerar o módulo do número.

Corr Eign_vt	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
B1	0.376	-0.416	0.403	0.376	-0.044	0.343	0.511
B2	0.378	-0.409	0.182	0.147	0.042	-0.101	-0.790
B3	0.384	-0.276	-0.193	-0.251	0.156	-0.734	0.337
B4	0.386	-0.129	-0.436	-0.545	0.138	0.573	-0.016
B5	0.381	0.272	-0.567	0.519	-0.435	-0.029	-0.012
B6	0.366	0.571	0.159	0.186	0.692	0.012	-0.014
B7	0.375	0.409	0.480	-0.416	-0.533	-0.063	-0.019

Statistics for Dataset:

LC82160632013335LGN00_20131201_MERGE.ers

Fonte: O autor.

Tabela 9 – Contribuição das Principais Componentes entre as Bandas do sensor OLI (2014). Para os valores negativos, considerar o módulo do número.

Corr Eign_vt	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
B1	0.374	-0.460	0.412	0.349	-0.002	-0.260	-0.537
B2	0.377	-0.423	0.138	0.125	0.009	0.020	0.802
B3	0.383	-0.246	-0.271	-0.238	0.198	0.750	-0.248
B4	0.384	-0.100	-0.499	-0.484	0.050	-0.594	-0.058
B5	0.377	0.361	-0.477	0.650	-0.278	0.032	-0.004
B6	0.370	0.546	0.308	0.002	0.680	-0.060	0.054
B7	0.379	0.332	0.408	-0.387	-0.647	0.108	-0.009

Statistics for Dataset:

LC82160632014210LGN00_20140729_MERGE.ers

Fonte: O autor.

Tabela 10 – Matriz de correlação entre as Bandas do sensor OLI (2015).

Corr Matrix	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
B1	1.000	0.998	0.980	0.953	0.713	0.761	0.854
B2	0.998	1.000	0.986	0.961	0.715	0.767	0.860
B3	0.980	0.986	1.000	0.988	0.797	0.846	0.918
B4	0.953	0.961	0.988	1.000	0.811	0.878	0.945
B5	0.713	0.715	0.797	0.811	1.000	0.960	0.910
B6	0.761	0.767	0.846	0.878	0.960	1.000	0.979
B7	0.854	0.860	0.918	0.945	0.910	0.979	1.000

Statistics for Dataset:

LC82160632015133LGN00_20150513_MERGE.ers

Fonte: O autor.

Tabela 11 – Contribuição das Principais Componentes entre as Bandas do sensor OLI (2015). Para os valores negativos, considerar o módulo do número.

Corr Eign_vt	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
B1	0.376	-0.415	-0.251	0.430	-0.382	-0.200	-0.503
B2	0.377	-0.411	-0.171	0.201	0.152	-0.022	0.772
B3	0.391	-0.236	-0.052	-0.297	0.694	0.275	-0.379
B4	0.392	-0.146	0.327	-0.698	-0.422	-0.223	0.062
B5	0.352	0.555	-0.687	-0.183	-0.175	0.169	0.058
B6	0.370	0.468	0.261	0.243	0.319	-0.644	-0.019
B7	0.387	0.236	0.508	0.326	-0.197	0.625	0.020

Statistics for Dataset:

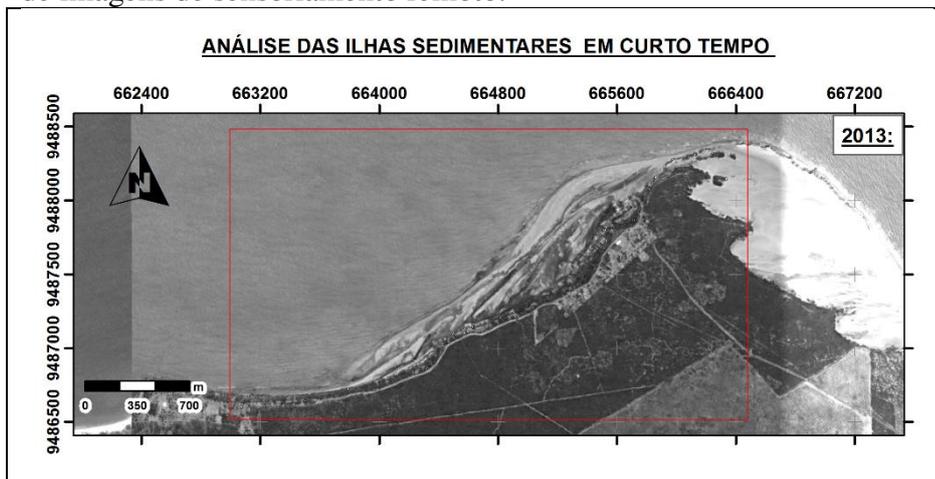
LC82160632015133LGN00_20150513_MERGE.ers

Fonte: O autor.

5.2.5 Produtos integrados – fusão de imagens

Após a análise de parâmetros estatísticos (correlação e contribuição), as bandas dos sensores TM, ETM e OLI passaram pelo processo de fusão produzindo um único arquivo “*multilayer*” (.ers). Na segunda fusão, a integração entre os produtos merge (.ers) dos sensores multiespectrais com às “*FalsePanVisGray*” (Figura 22; Figura 23), produziu finalmente a imagem potencial para realce das feições sedimentares da Praia de Ponta Grossa.

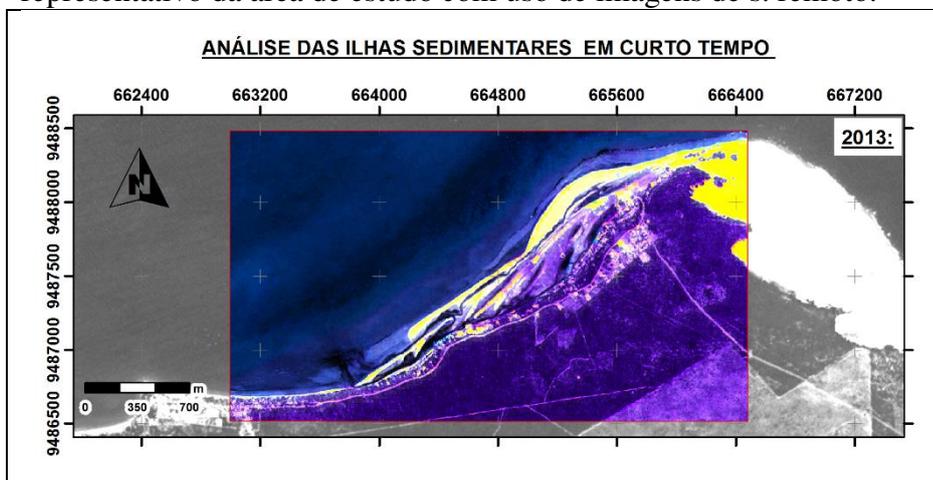
Figura 23 – Teste com imagem em tons de cinza antes da integração com os produtos multiespectrais. 2013 12 23 DGQB VISGRAY (falsepan). Polígono vermelho representativo da área de estudo com uso de imagens de sensoriamento remoto.



Fonte: O autor.

Nota-se, que o aumento da resolução espacial de 30m para 5m, não foi essencialmente o fator diferencial, contudo o valor agregado aos resultados se deve a manutenção das propriedades espectrais dos sensores nas imagens resultantes (Figura 24).

Figura 24 – Resultado do Teste com imagem em tons de cinza após integração com os produtos multiespectrais. 2013 08 06 RGBI PC1 PC2 PC3 falsepan (fusão OLI + Digital Globe). Polígono vermelho representativo da área de estudo com uso de imagens de s. remoto.



Fonte: O autor.

Isto porque, conforme imagens adquiridas gratuitamente (Tabela 4; Figura 22) e a exemplo da Figura 24, somente desta forma realizou-se o mapeamento das coberturas arenosas desprovidas de vegetação em escala fina e tempo curto.

5.2.6 Produtos das Composições coloridas – Discriminação de sedimentos

Tendo em vista os inúmeros testes realizados durante a etapa de processamento de imagens digitais, alguns tripletes não foram utilizados (Figura 23 e Figura 24). Em contrapartida, entre 2012 e 2015, as combinações da série histórica apreciadas como potenciais para mapeamento das coberturas sedimentares, foram:

5.2.6.1 Produto RapidEye/REIS/2012, RG B321

Usado para simular a região do visível do espectro eletromagnético (EEM), semelhantemente a um produto controle onde a partir deste as outras composições foram comparativamente analisadas (Tabela 4). Utilizada para mapeamento e quantificação da cobertura sedimentar da área de estudo no instante inicial (Figura 25A).

5.2.6.2 Fusão OLI/QB/2013 arranjo *iHSI PC1PC4PC7 *(FalsePan)

Antes de explicar a composição citada, a critério de comparação, usando as mesmas PCs no sistema RGB, se observou que o realce da superfície arenosa foi sutil, não separando muito bem sedimentos do campo de dunas dos depósitos litorâneos na praia. A escolha deste sistema de cor para o arranjo de 2013, efetivamente implicou em um melhor realce do alvo sedimentar. Via de regra, a tabela de correlação exhibe claramente que bandas próximas tem um maior grau de correlação entre si (Tabela 6). Neste sentido se o objetivo for mapear a heterogeneidade espacial da paisagem costeira, deve-se optar por combinações de bandas com baixa correlação. É um ponto de partida, contudo a estatística de correlação foi insuficiente, esta precisou ser complementada pela Análise das Principais Componentes (PCAs).

A priori, a imagem de resolução espacial fina em tons de cinza *QuickBird* 2013 foi integrada a composição no canal do *i (*intensity*). A PC1 no canal da cor (*hue*) foi selecionada por apresentar participação relativamente equitativa (Tabela 7) na formação de todas as bandas (L8/OLI/2013); o resultado foi o realce da superfície submersa em tons vermelhos, sedimentos em suspensão em tons amarelados, flechas de areia em tons azuis e zona emersa em verde. Com a PC4 no canal da saturação (*saturation*), houve melhor discriminação no continente de duas coberturas: feições arenosas (tons azuis claros) do que não era sedimento (tonalidades em verde intenso) (Figura 25B). No último canal (*intensity*) a PC7 foi testada na composição colorida porque a banda 2 (azul do OLI/2013) possui boa participação na formação da PC7 (-0.790) (Tabela 7), esta aplicação demonstrou o contato entre sedimentos de origem marinha (tons amarelos) e as feições sedimentares emersas (tons azuis claros), tornando fácil o mapeamento das coberturas sedimentares da praia (Figura 24B). Mesmo havendo um pequeno sombreamento provocado por nuvens, o processo de fusão eficiente e a disposição a sudoeste deste ruído não atrapalharam o realce do alvo sedimentar. Assim sendo, foi o arranjo utilizado para quantificação da superfície sedimentar desprovida de vegetação em 2013 (Figura 25B).

5.2.6.3 Fusão OLI/REIS/2014 arranjo RGB*i PC1PC2PC3 *(FalsePan)

Avaliando a correlação estatística entre as sete bandas do arquivo fusionado, percebe-se que há repetição de padrões. Justificados pela premissa de que bandas com ranges espectrais próximos tendem a ser análogas. Por exemplo, segundo a Tabela 8, a banda 5 (L8/OLI/2014) exibe forte correlação com as bandas 4 (0.957), 6 (0.979) e 7 (0.975) (Tabela 8), por outro lado, a banda 7 deste mesmo sensor forte correlação com todas as demais bandas. Tendo em vista a complexidade dos números, foi razoável aplicar as imagens das Principais Componentes 1, 2 e 3 desta vez no sistema de cor RGBi. Como as bandas 4, 6 e 7, respectivamente, possuem forte participação na formação das PC1, PC2 e boa contribuição na PC3 (Tabela 9), a composição colorida concebida obedeceu a este princípio. Então, no canal do vermelho a PC1, no verde PC2, no azul PC3 e finalmente no canal *i (*intensity*) a imagem *falsapan visgray* do sensor REIS/2014 foram inseridas.

Muito embora a contribuição igualitária de todas as bandas na formação PC1 seja fato, a banda 4 apresentou maior valor de participação na formação na PC1 (Tabela 9). Provavelmente pela mudança do sistema de cor (RGB) o uso da primeira Principal Componente não diferenciou bem as unidades geoambientais da paisagem, mesmo assim houve o realce efetivo da interface mar-continente; onde a zona submersa apresentou tons de vermelhos a “vinho” (PC1 no canal do vermelho), a zona emersa tons verdes escuros (PC2 no canal do verde) e as feições sedimentares em cores variando do vermelho claro à rosa (PC3 no canal do vermelho) (Tabela 8 e Tabela 9). Neste caso particular, o objetivo de se colocar a PC1; PC2; PC3 em sequência foi preservar a visualização de características comuns heterogeneidade espacial, neste sentido o resultado não foi o esperado, contudo, este procedimento contribuiu para a espacialização dos alvos em função modificação dos padrões de disposição da cobertura sedimentar de um ano para o outro (Figura 25C). Foi a Composição escolhida para quantificação e mapeamento dos sedimentos de praia.

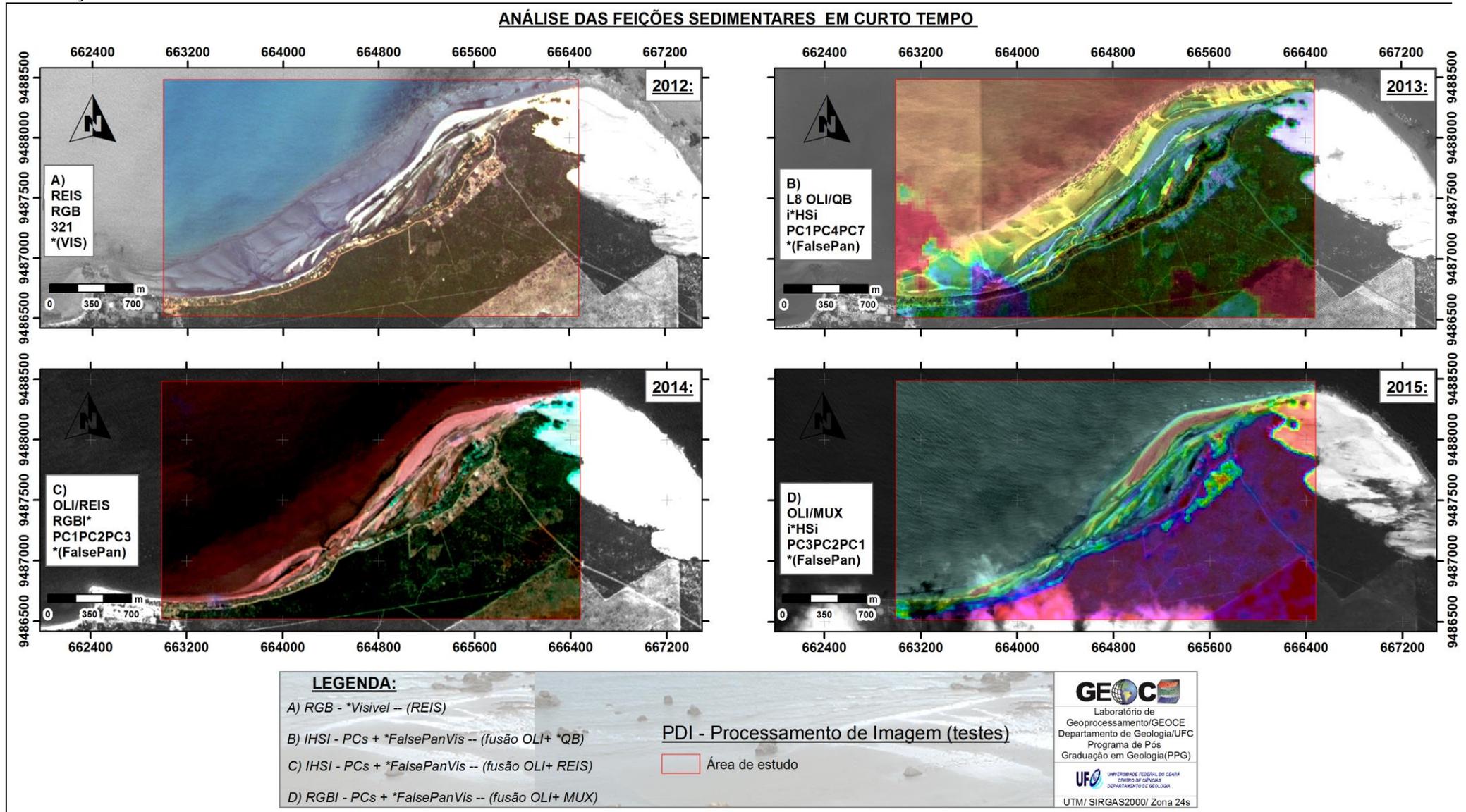
5.2.6.4 Fusão OLI/MUX/2015 arranjo *iHSI PC3PC2PC1 *(FalsePan)

Retornar ao sistema de cor HSI e inverter a sequência da PCs em ordem decrescente, conforme as estatísticas geradas, resultou produto temático seguramente representativo do realce das feições ambientais que compõe o mosaico da paisagem costeira e mais expressivo da disposição das coberturas sedimentares na praia de Ponta Grossa.

Segundo os dados de correlação apresentados na Tabela 10 não houve mudança expressiva, ou seja, o grau de correlação geralmente aumenta conforme a proximidade das bandas. Auxiliados pela Tabela 10, foi visto que a banda 3 do L8/OLI/2015 apresenta menor correlação em relação as bandas 5 (0.797) e 6 (0.846), conseqüentemente, se a finalidade é mapear o mosaico da paisagem, elas serão eficientes na potencialização da composição da paisagem. Fundamentados pelo grau de correlação mencionado, a utilização da PC3; PC2; PC1 estiveram condicionadas a três critérios: i) a pequena participação da banda 6 (0.261) (Tabela 11) na formação da PC3 (*hue*); ii) a forte participação da banda 5 (0.555) (Tabela 11) na formação da PC2 (*saturation*); iii) a boa contribuição da banda 3 (0.391) (Tabela 11) na formação da PC1 (*intensity*). Concluindo o arranjo, a imagem de resolução espacial fina (MUX/2015) foi inserida no primeiro canal *i (*intensity*). Para esta composição (Figura 25D) é importante mencionar que a utilização de uma banda que tenha pouca contribuição na formação da PC, representou um oportuno experimento que resultou na visualização de feições, contatos e bordas não percebidas nas outras composições.

Aplicar a PC3 no canal da cor (*hue*) permitiu o realce de uma barra arenosa em tons de lilás tendendo para o vermelho claro e viabilizou a identificação do contato entre cobertura arenosa da praia e os sedimentos da duna sobre o promontório rochoso; a PC2 na saturação (*saturation*) foi útil para a discriminação de sedimentos costeiros em tons de verde claro; já o uso da PC1 na intensidade (*intensity*) propiciou o realce das unidades geoambientais: oceano em um gradiente de tons cinzas, zona emersa interna em variações do roxo; água em variações de azul marinho a preto e para identificação da mancha urbana em tons coloridos. (Figura 25D). Dentro do recorte espacial da área piloto, foi composição eleita para mapeamento das porções arenosas no ano de 2015.

Figura 25 – Resultado da Aplicação de técnicas de PDI. Integração dos produtos multiespectrais com imagens falsa pancromáticas associadas. A) REIS/2012; B) QUICKBIRD/DG/2013; C) REIS/2014; D) MUX/2015. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha ilustra a área de estudo para realce das feições sedimentares.



Fonte: O autor.

5.2.7 Mapeamento, Quantificação e Diferenças na cobertura sedimentar em área (m²)

Conforme leitura geral dos dados da Tabela 12 e Figura 26 (A; B; C; D) os resultados qualitativos (disposição da mancha de sedimentos) e quantitativos (valores líquidos em área) são claros em atestar deposição em função do aporte sedimentar e balanço positivo para cobertura da paisagem analisada. A evolução mostra que os valores totais (m²) em 2012; 2013; 2014 e 2015, foram respectivamente, 196.188m²; 295.298m²; 370.147m² e 311.457m². Apenas após dois anos, a partir de 2012 percebe-se que houve uma severa diminuição dos ganhos, perda de área e crescimento eventos erosivos.

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.

Didaticamente, quando é feito o cálculo da subtração entre o somatório das áreas de acreção pelo somatório da superfície erodida, é possível avaliar a dinâmica dos processos sedimentares erosivos e/ou deposicionais de maneira simples. Aplicação mencionada determinou que nesta porção da praia de Ponta Grossa, o balanço sedimentar final na comparação de 34 meses foi positivo, com ganho de área de 114.569m², onde a área total de acreção foi de 171.053m² e de erosão foi de 61.284m² (Figura 27D).

Tabela 12 – Área total da Cobertura sedimentar quantificada em metros quadrados conforme ano; intervalo em meses e data de aquisição.

ANO	INTER. (meses)	AQUIS. (data)	ÁREA (m ²)
2012	0	06/06/2012	196.889,01
2013	17	01/12/2013	295.298,02
2014	7	29/07/2014	370.147,91
2015	10	13/05/2015	311.457,84

Fonte: O autor

Moreira; Duarte; Souto (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. Diante do cenário de deposição, notou-se que esta região se apresenta com uma

tendência diferenciada das outras áreas costeiras vizinhas, que exibiram de forma geral, nos últimos anos, um regime erosivo mais consistente. Essa tendência não erosiva pode ter relação principalmente com a geometria da costa em forma promontório rochoso. A alimentação sedimentar pode estar associada a fatores que atuam “sinergeticamente” ou de forma isolada no aporte ou retirada de sedimentos. Em Ponta Grossa, por exemplo, a duna móvel exposta sobre as falésias, eventualmente libera sedimentos para a praia. O próprio intemperismo das falésias no pontal favorece positivamente entrada de sedimentos no sistema. Evidentemente, a deriva litorânea pode fornecer sedimentos de origem marinha. A geometria costeira que interliga o pontal e a praia (forma de arco). Onde este “desenho” de LC pode funcionar como barreira física-fisiográfica contra agentes de forte energia (ondas, ventos, marés) (SANTOS *et al.*, 2012).

Os resultados mostram que as técnicas de PDI empregadas foram satisfatórias, principalmente no realce feições sedimentares (barras, ilhas, cordões, flechas arenosas), que eram o objeto de estudo. Especialmente, aqueles procedimentos que contribuíram para edição de produtos “*multisensores*” úteis pela manutenção das propriedades espectrais em algumas imagens de resolução espacial fina (AZEVEDO; CASTRO; SANTOS, 2016).

Após etapa do PDI vinculada a interpretação da série histórica, percebeu-se que algumas feições exercem influência sobre as transições da paisagem (Figura 26A; 26B; 26C; 26D). De forma geral, as observações foram feitas nas imagens pertinentes ao realce/mapeamento dos sedimentos. Nas Figuras 26C e 27C constatou-se a abertura de pequenos canais de maré dispostos entre as feições arenosas que seguem “meandrando” por conta da dinâmica costeira atuante. Neste setor da praia, os canais provavelmente foram criados e abandonados de acordo com a dinâmica de sedimentação e erosão produzidas na costa.

São fatos que comprovam alterações nos padrões espaço-temporais para desconstrução do cenário de aporte sedimentar. A mudança no padrão de aporte sedimentar pode ter ocorrido neste intervalo temporal, já que na Figura 26D e Figura 27D o canal anteriormente bem nítido, não possui mais a mesma geometria e a sua cobertura arenosa começa a desaparecer (GEORGE *et al.*, 2015; GIARDINO *et al.*, 2018). Coerentemente, as imagens apresentadas (Figuras 26C; 27C e Figuras 26D e 27D) são bons indicadores do tempo provável que marca o início do processo erosivo, ou seja, de quando as transições ocorridas realmente aconteceram (NEELAMANI, 2018; ROSA; SILVEIRA, 2013).

Em relação as modificações das áreas que realmente apresentaram transições, no que se refere aos ganhos e perdas, obtidos pela intersecção de duas feições arenosas criadas para determinação das áreas acrescidas ou erodidas (SANTOS; AMARO; SOUTO, 2011),

atestaram que os procedimentos utilizados no PDI foram razoavelmente eficazes para avaliar a evolução costeira da superfície sedimentar da área em estudo.

A Tabela 13 comprova que os resultados das diferenças simétricas entre um ano e outro mostram o domínio dos processos deposicionais em detrimento dos erosivos. Novamente, a não ser por conta do terceiro intervalo de tempo, todos os demais períodos do monitoramento, respondem por um comportamento típico de praia em processo construtivo (SANTOS; AMARO, 2013).

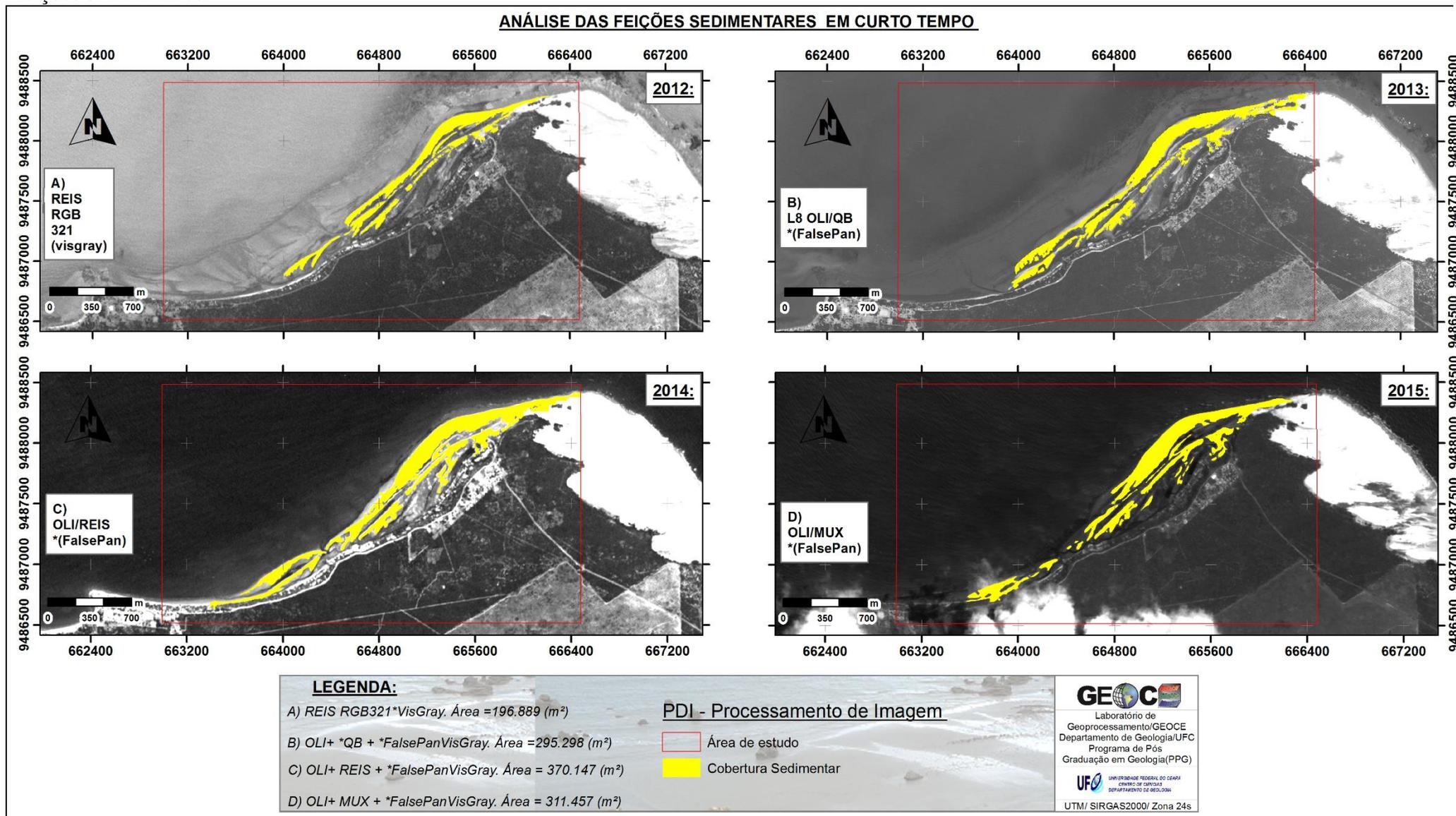
Tabela 13 – Evolução da cobertura sedimentar quantificada em metros quadrados.

Balço Sedimentar	m²	m²	m²	m²
Intervalo	201206_201312	201312_201407	201407_201505	201206_201505
Acresção	156285	138870	83784	175853
Erosão	57876	64020	142474	61284
A-E	98409	74850	-58690	114569

Fonte: O autor.

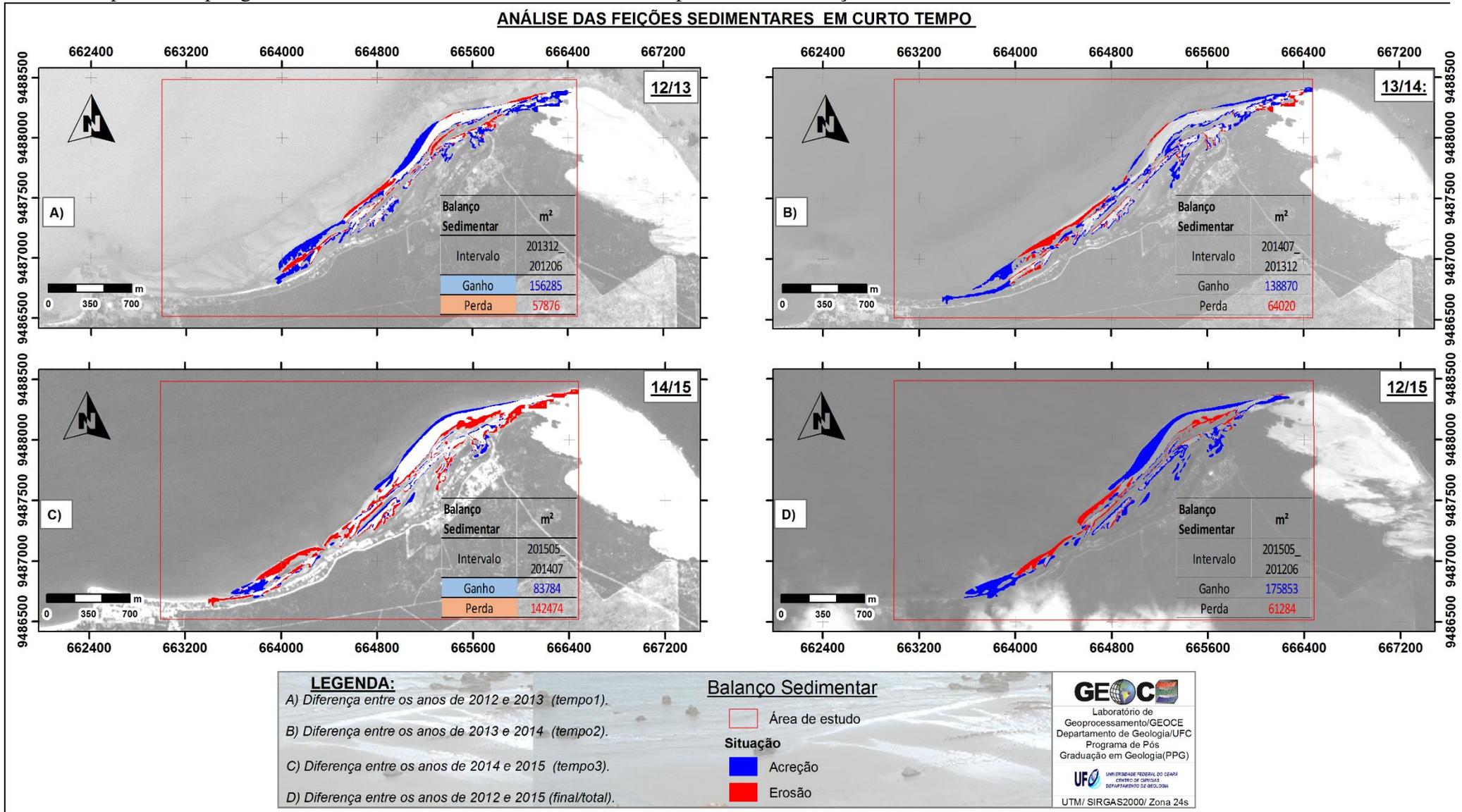
Descritivamente, os valores para os ganhos, as perdas e para subtração quantitativa podem ser apreciados na Tabela 13 que trata da evolução da cobertura sedimentar mapeada.

Figura 26 – Resultado do Mapeamento da cobertura sedimentar em série histórica de 2012 a 2015. Modelo pertinente a quantificação de áreas (m^2) para os anos A) 201206; B) 201312; C) 201407 e D) 201505. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha delimita a área de estudo para realce das feições sedimentares.



Fonte: O autor.

Figura 27 – Resultado do Mapeamento da cobertura sedimentar em série histórica de 2012 a 2015. Modelo pertinente a diferença entre áreas (m^2 /erosão/deposição) dos intervalos parciais: A) 201312 e 201407; B) 201407 e 201411; C) 201411 e 201505; e diferença global 201312 e 201505. Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal de cor vermelha delimita a área de estudo para realce das feições sedimentares.



Fonte: O autor.

Soma-se ao resultado da quantificação, a incapacidade de se identificar visualmente padrões na distribuição da diferença dos sedimentos (Figuras 26A; 26B; 26C; 26D e 27A; 27B; 27C; 27D). Mesmo havendo apenas duas feições (perda ou ganho), os arranjos das manchas de sedimentos são bastante “confusos”. Talvez o ciclo destacável, que tende a se repetir, seja a abertura e fechamento do pequeno canal (coordenadas 664369,550 E; 9487108,254 S) que em 2013 foi sutilmente aberto, construído em 2014 e fechado ou destruído em 2015.

5.3 Geodésia de precisão para quantificação (volume) e análise da dinâmica sedimentar entre 2013 e 2018

5.3.1 Recorte espacial: Área de Estudo

A Figura 10, Figura 11 e Figura 12, citadas anteriormente, exemplificam o recorte espacial pertinente a área utilizada para edição dos modelos de terreno localizados na praia de Ponta Grossa. Conforme materiais e métodos apresentados os resultados volumétricos podem ser apreciados nos mapas pertinentes a área total (AT) e piloto (AP). Área Total para quantificação do volume de toda barra arenosa mais externa da praia e a segunda (AP) delimitada pelo perímetro de intersecção dos cinco campos realizados entre 2013 e 2108.

5.3.2 Modelos Digitais de Elevação

O uso de dispositivos de geotecnologias que oferecem recursos de posicionamento para edição de mapas ou obtenção de imagens tornou-se comum nos dias atuais. Inúmeros aplicativos em celulares são exemplos da generalização das ferramentas de localização para realização de viagens, marcação de pontos ou registro de rotas.

Contemporaneamente, as inovações tecnológicas pertinentes aos sistemas de posicionamento por satélites com cobertura mundial (*Global Navigation Satellite System/ GNSS*), acompanharam essa corrida tecnológica, substituindo métodos tradicionais por técnicas espaciais modernas, o que implicou em melhorias de precisão, localização e navegação, requisitos essenciais para monitoramento e mapeamento de alta resolução espaço-temporal.

Neste sentido segundo metodologia apresentada foram produzidos quatro modelos digitais de terreno, com os respectivos valores das altitudes ortométricas ilustradas nos mapas conforme levantamentos de campo. A grande vantagem deste recurso foi perceber nos resultados e observar visualmente a disposição da superfície sedimentar passível de levantamento em campo, a extensão dessa cobertura arenosa e por último a regiões que apresentaram valores de altitudes (altos e baixos), que a princípio, podem indicar o maior ou menor volume sedimentar encontrado.

5.3.3 Evolução, mapeamento e quantificação da superfície sedimentar em volume

Conforme Figura 28A, em dezembro de 2013, o modelo digital de elevação (MDE) gerado obteve a maior extensão longitudinal em termos de alcance de área. Isto porque, nesta data, a superfície sedimentar (ilha arenosa) disponível para a varredura tinha aproximadamente 2.276 metros de distância e 6.069 metros de perímetro. Considerando este peculiar detalhe, pode-se observar um modelo simples com dois estratos altimétricos bem definidos, onde os maiores valores de altitudes podem ser vistos na porção NE (nordeste) e aqueles de cota reduzida se concentraram no sentido SW (sudoeste). Evidentemente, este resultado indica o limite exato entre as feições altas e baixas, que por sua vez fornece indícios da posição da Linha de Costa entre a interface (1,0 e 1,2 metro) zona emersa e submersa. Variando entre 1,6 e 1,8 metro, as flechas de areia, dunas frontais e acúmulo de sedimentos na base da falésia podem explicar os picos de altitudes. Em contrapartida, na porção final desta unidade arenosa (Figura 28A), os valores de “Z” permanecem pouco alterados, abaixo de um metro; entre 0,50 e 0,270 centímetros de altura. O volume total encontrado foi aproximadamente 357.339,61 m³ de cobertura sedimentar (Tabela 14).

Após análise dos dados, em julho de 2014 (Figura 28B), as alterações temporais e espaciais da cobertura sedimentar começam a se tornar perceptíveis. A extensão da feição sedimentar ao longo da faixa de praia alcançou 2.326 metros (5.004m de perímetro), se diferenciando do modelo anterior pelo estreitamento da porção sudoeste (setor final do modelo no sentido E-W). Na divisão entre as superfícies altas e depressões do terreno, se reconhece facilmente a linha entre praia e mar. Para essa feição da praia, admitiu-se que o setor de transição referido simula a posição da LC do modelo atual. Em síntese, os valores de altitudes, foram respectivamente, 1,4/1,27 metro para região intermediária; 2,5/3,5 metros para as feições altas; 0,5/0,1 metro para as superfícies de menor elevação; e o volume final calculado foi aproximadamente 557.402,63 m³ (Tabela 14). Um aspecto relevante é que neste momento da evolução espaço-temporal, inicia-se o processo de construção de um minúsculo e quase imperceptível canal (coordenadas 664766,366 E; 9487562,798 S).

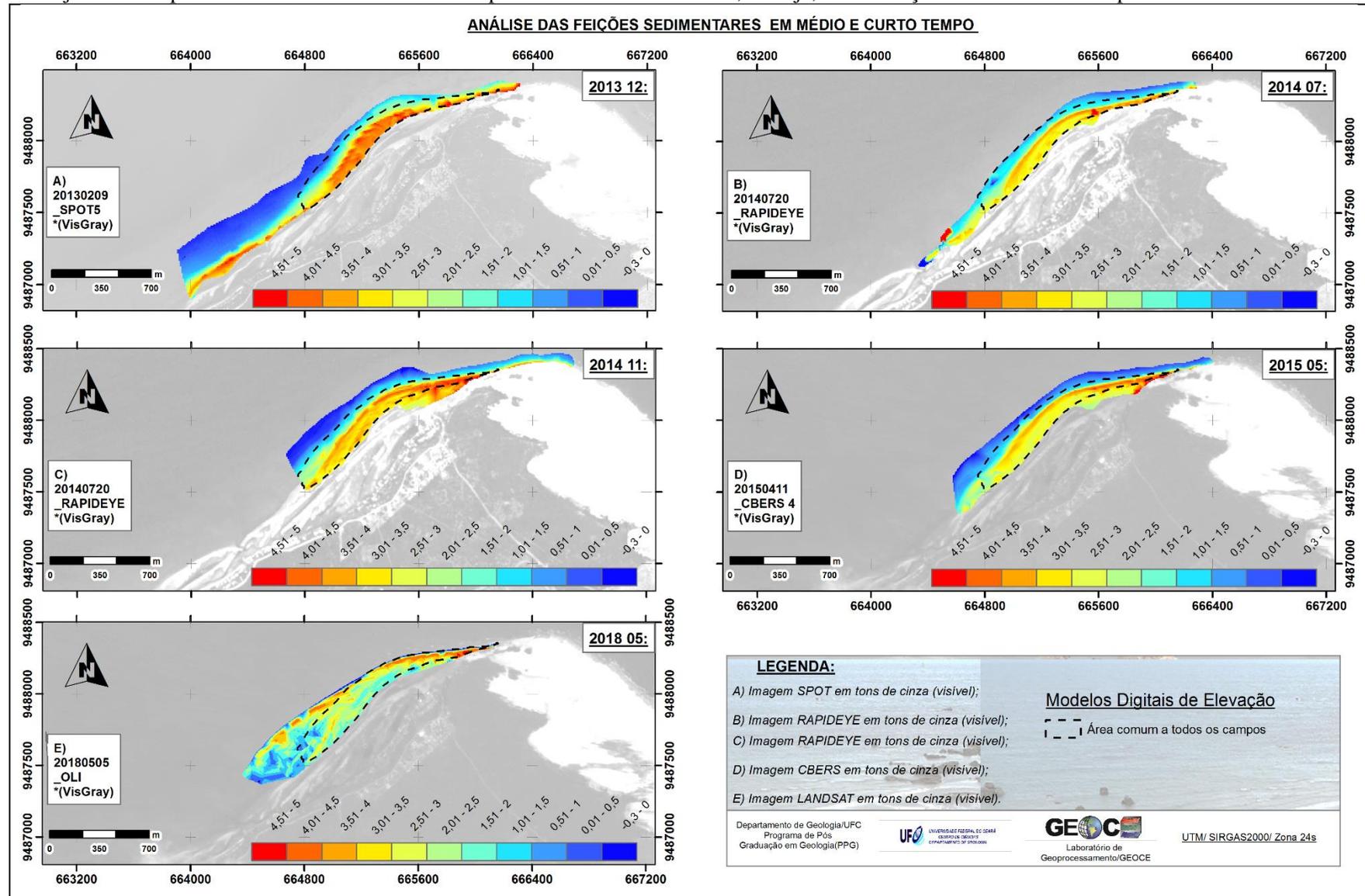
No terceiro intervalo da análise temporal (28C), em novembro de 2014, claramente houve a marcação de uma faixa litorânea de transição entre a zona emersa e submersa típica da caracterização do estirâncio, bem como a estratificação desses setores em função das elevações no terreno (MDE). Do ponto de vista espacial, neste tempo ocorreu diminuição abrupta da área sedimentar, onde a extensão cobertura desta foi aproximadamente 2.114 metros com 4.860 m de perímetro, bem menor se comparado ao intervalo anterior. Os valores das altitudes entre

1,2/1,6 metros; entre 2,3/2,27 metros e 03/41 centímetros, definem simultaneamente a zona de transição terra/mar (LC); elevações e depressões. Neste modelo planialtimétrico, o volume total encontrado foi 691.288,61m³ (Tabela 14). Ressalta-se que o encurtamento deste modelo em função do expressivo crescimento de volume, pode ser justificado pela hipótese do surgimento do canal (coordenadas 664766,366 E; 9487562,798 S) em julho de 2014. No processo construtivo mencionado, a feição sedimentar provavelmente foi barrada pela formação da margem (barreira natural) de um córrego adjacente, fato que pode explicar a interrupção da expansão longitudinal do modelo, conseqüentemente da barra arenosa mais externa.

O relevo da área de estudo representado pelo modelo de maio de 2015 (Figura 27D), discriminou três feições praias; uma região bem marcada pelas elevações (gradiente de cores vermelhas), uma linha de transição intermediária (faixa de praia) e outra pelas regiões planas ou depressões (gradiente azul). Os resultados reforçam que este modelo alcançou aproximadamente uma área de 2.000 metros de comprimento, com 4.588m de perímetro e volume final de aproximadamente 614.980,127 m³ (Tabela 14). Quantitativamente, esta representação planialtimétrica, exibiu para zona de transição terra/mar (LC) valores em torno de 1,5/1,9 metros (z); as elevações com 2,5/3,0 metros (z) e depressões com 0,40/0,270 centímetros (z). O MDE 201505, destaca-se por ser curto, ter menor perímetro, e o volume reduzindo em relação ao intervalo de tempo anterior. De tal forma que geometria da feição sedimentar se assemelha a da barra arenosa do modelo 201312, sendo que este de 201505, relativamente mais curto e estreito, parece ter migrado, se deslocando para leste (sentido NE-SW). Em maio de 2018, o relevo da praia foi bem simulado pelo modelo de elevação. Este foi fiel a representação das porções baixas, altas e mais largas da praia, principalmente setor final do levantamento na porção leste, sentido NE-SW. Com 4.261m de perímetro; volume final de aproximadamente 588.731,63 m³ e elevações variando em torno de 0,5/1,3m e 3,3/4,4m (z); comparativamente, parece ser o modelo que não apresentou nitidamente as superfícies planas da praia. Neste último modelo, não foi possível identificar a posição potencial da Linha de Costa associada ao estirâncio; relacionada a diferença abrupta entre as cotas altas e baixas (“Z” ortométrico); ou reconhecida visualmente pela interface zona seca/molhada.

Segundo os MDEs gerados, as modificações em tamanho, forma, perímetro e volume citados nos parágrafos anteriores reforçam quantitativamente (diferentes altitudes ortométricas) e qualitativamente (alterações nos padrões espaço-tempo) que esse setor da Praia de Ponta Grossa, apresenta uma zona costeira fortemente dinâmica com padrões cíclicos tendenciosos para aporte sedimentar. Isso não quer dizer que os ciclos de destruição da praia (erosão costeira) não existam, todavia ocorrem com menor efetividade.

Figura 28 – Modelo Digital de Terreno pertinente aos cinco levantamentos de campo na Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE – A) Dezembro de 2013; B) Julho de 2014; C) Novembro de 2014; D) Maio de 2015 e E) Maio de 2018. Os mapas apresentam os valores das altitudes ortométricas seguindo um gradiente de cores. Tom azul/ciano fazem referência aos baixos topográficos e os altos são representados pela cor vermelha/laranja. A poligonal tracejada de cor preta ilustra a área comum coberta por todos os levantamentos, ou seja, a intersecção entre todos os campos.



Fonte: O autor.

Tabela 14 – Quantificação do volume e perímetro: área total e recorte da área comum a todos os campos.

Área Total	Volume (m ³)	Perímetro (m)	Área Piloto	Volume (m ³)	Perímetro (m)
Dez/ 2013	357339,61	6069,55	Recorte 1312	192823,98	3464,91
Jul/ 2014	557402,63	5004,05	Recorte 1407	196292,18	3464,91
Nov/ 2014	691288,61	4860,77	Recorte 1411	341892,34	3464,91
Mai/ 2015	614980,17	4588,59	Recorte 1505	355619,84	3464,91
Mai/ 2018	588731,63	4261,62	Recorte 1805	246707,02	3464,91

Fonte: O autor.

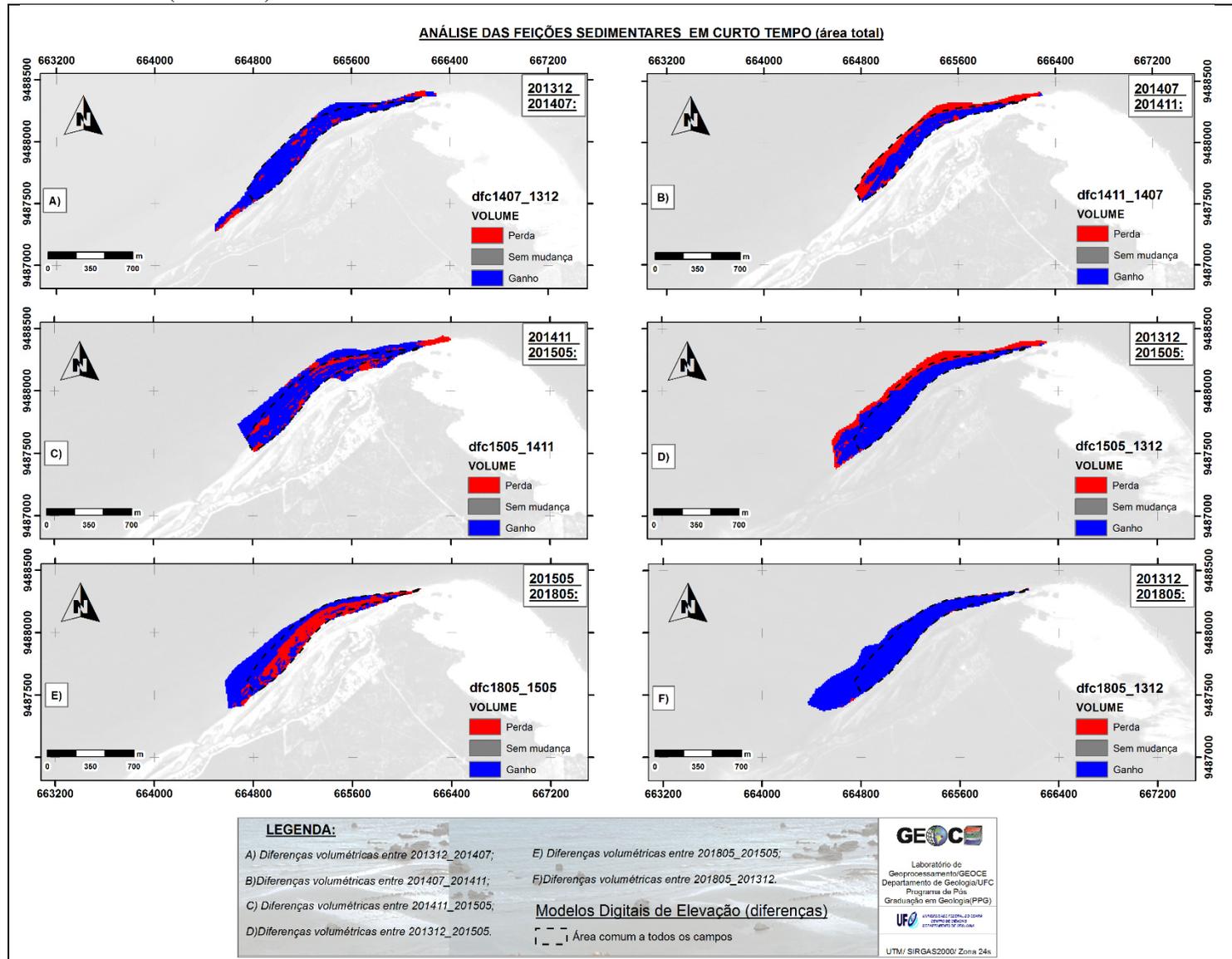
5.3.4 Diferenças espaço-temporais das coberturas sedimentares: erosão e acreção

A partir de consultas a banco de dados espaciais para aquisição de informações sobre temporada chuvosa (precipitação), velocidade dos ventos e condições de marés (energia) é possível identificar a gênese do processo erosivo ou deposicional em escala fina e tempo curto (SANTOS; AMARO, 2011; SANTOS; AMARO; SOUTO, 2011). Todavia, por questões fundamentalmente metodológicas, admitiu-se nessa pesquisa, que todas as questões desdobradas pela problemática científica apresentada no objetivo geral seriam exclusivamente respondidas sob a ótica do mapeamento e da quantificação da cobertura sedimentar na praia de Ponta Grossa através de recursos geotecnológicos (Geodésia e Sensoriamento Remoto) (SANTOS; AMARO, 2011).

Avaliando os acréscimos e perdas, nota-se que existe uma complexa dinâmica orientando os movimentos das massas de sedimentos presentes na praia. A Tabela 15 e a Tabela 16; os mapas das Figuras 29 (A; B; C; D; E; F) e 30 (A; B; C; D; E; F) juntamente com as porcentagens do Gráfico 1 (A; B; C; D) detalham a evolução do balanço sedimentar volumétrico para ÁREA TOTAL e ÁREA PILOTO (Setor 3 - Leste de Icapuí). Tanto na análise de curto tempo (2013 a 2015) como na de longo prazo (2013 a 2018), os mapas das diferenças (espaço-temporais) ilustram tematicamente que os ganhos líquidos foram bem superiores as perdas, observa-se com esse resultado, maior volume de acreção em detrimento de erosão (SANTOS; AMARO, 2011).

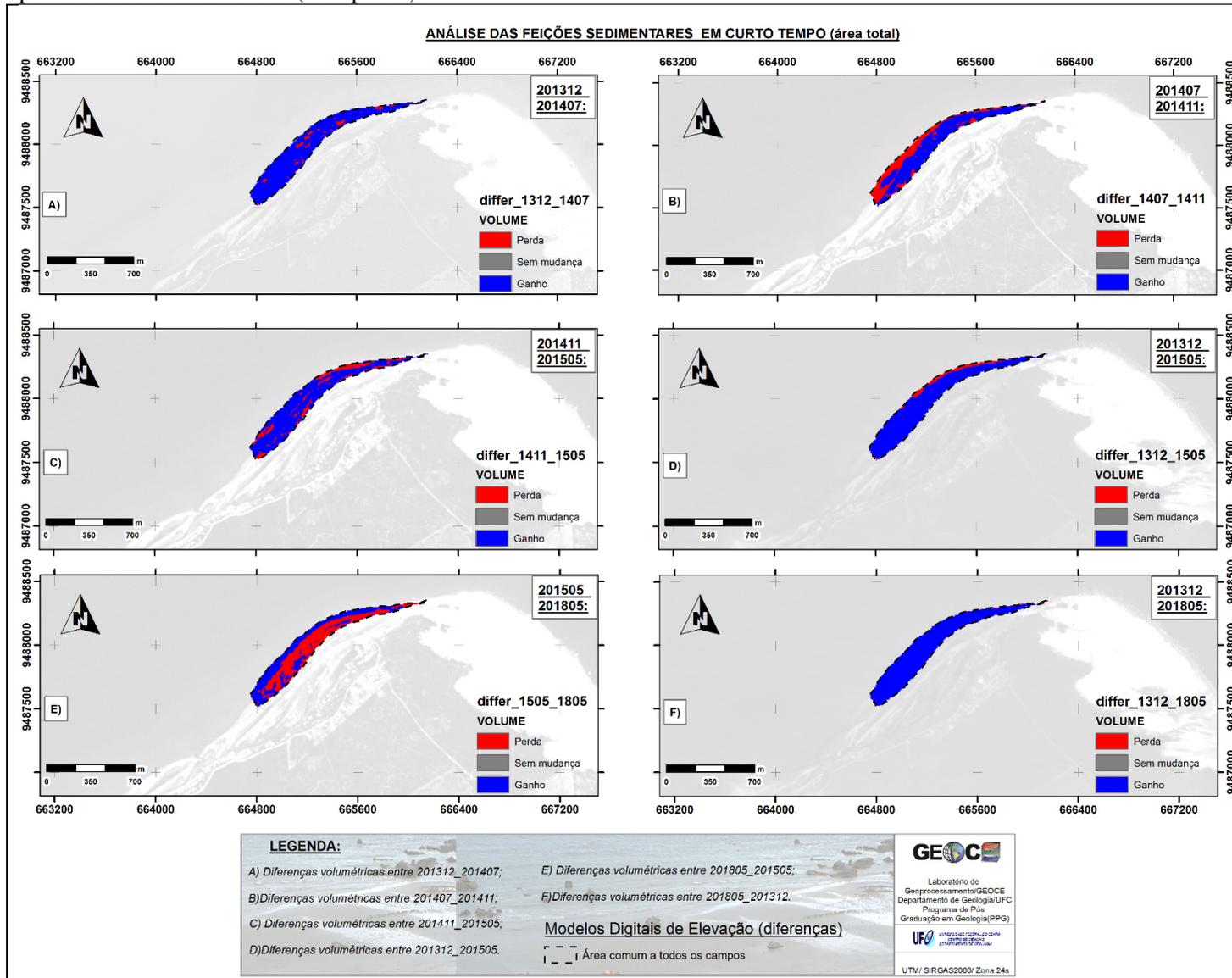
O padrão espacial mencionado, justifica-se porque a quantidade de sedimentos que está chegando a praia não é retirada na mesma proporcionalidade, este processo costeiro valida a hipótese do trabalho que reforça a ideia da predominância temporal do aporte sedimentar característico de “praias construtivas”.

Figura 29 – Modelo pertinente as diferenças volumétricas (MDE) parciais entre as datas A) Dez/2013 e Jul/2014; B) Jul/2014 e Nov/2014; C) Nov/2014 e Mai/2015; D) Dez/2013 e Mai/2015 E) Mai/2015 e Mai/2018 e F) diferença global Dez/2013 e Mai/2018 na Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal tracejada de cor preta ilustra a área comum coberta por todos os levantamentos (área total).



Fonte: O autor.

Figura 30 – Modelo pertinente as diferenças volumétricas (MDE) parciais entre as datas A) Dez/2013 e Jul/2014; B) Jul/2014 e Nov/2014; C) Nov/2014 e Mai/2015; D) Dez/2013 e Mai/2015 E) Mai/2015 e Mai/2018 e F) diferença global Dez/2013 e Mai/2018 na Praia de Ponta Grossa/Icapuí/CE. A poligonal tracejada de cor preta ilustra a área comum coberta por todos os levantamentos (área piloto).



Fonte: O autor.

Tabela 15 – Balanço sedimentar final em volume (m³) e área (m²) para todo intervalo de tempo estudado (dezembro de 2013 e maio de 2018) segundo perímetro da área total. Visitas de campo: Intervalos C1, C2, C3, C4, C5 e C6.

ÁREA TOTAL									
C1	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²	C2	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²
	Intervalo	201312_201407	Intervalo	201312_201407		Intervalo	201407_201411	Intervalo	201407_201411
	Ganho	65138	Aumento	229027		Ganho	40066	Aumento	125657
	Perda	3626	Redução	28652		Perda	42247	Redução	100472
	G-P	61512	A-R	200375		G-P	-2181	A-R	25184
C3	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²	C4 Geral Curto Tempo	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²
	Intervalo	201411_201505	Intervalo	201411_201505		Intervalo	201312_201505	Intervalo	201312_201505
	Ganho	81695	Aumento	262484		Ganho	123041	Aumento	220102
	Perda	14848	Redução	68017		Perda	34641	Redução	101080
	G-P	66847	A-R	194467		G-P	88400	A-R	119022
TEMPO MÉDIO									
C5	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²	C6 Geral Longo Prazo	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²
	Intervalo	201505_201805	Intervalo	201505_201805		Intervalo	201312_201805	Intervalo	201312_201805
	Ganho	181499	Aumento	185120		Ganho	321773	Aumento	314888
	Perda	25672	Redução	113883		Perda	615	Redução	3945
	G-P	155827	A-R	71237		G-P	321159	A-R	310943

Fonte: O autor

Tabela 16 – Balanço sedimentar final em volume (m³) e área (m²) para todo intervalo de tempo estudado (dezembro de 2013 e maio de 2018) segundo recorte da janela piloto. Visitas de campo: Intervalos C1, C2, C3, C4, C5 e C6.

JANELA PILOTO									
C1	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²	C2	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²
	Intervalo	201312_201407	Intervalo	201312_201407		Intervalo	201407_201411	Intervalo	201407_201411
	Ganho	49502	Aumento	176984		Ganho	39725	Aumento	124004
	Perda	938	Redução	12024		Perda	18459	Redução	61605
	G-P	48564	A-R	164959		G-P	21266	A-R	62399
C3	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²	C4	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²
	Intervalo	201411_201505	Intervalo	201411_201505	Curto Tempo	Intervalo	201312_201505	Intervalo	201312_201505
	Ganho	53675	Aumento	149321		Ganho	118802	Aumento	169656
	Perda	7109	Redução	36223		Perda	3044	Redução	17379
	G-P	46565	A-R	113098		G-P	115758	A-R	152277
TEMPO MÉDIO									
C5	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²	C6	Balanço Sedimentar	m³	Balanço Sedimentar	m²
	Intervalo	201505_201805	Intervalo	201505_201805	Geral	Intervalo	201312_201805	Intervalo	201312_201805
	Ganho	59898	Aumento	90460	Longo Prazo	Ganho	155995	Aumento	186002
	Perda	21931	Redução	96922		Perda	455	Redução	2255
	G-P	37967	A-R	-6461		G-P	155541	A-R	183747

Fonte: O autor

5.3.4.1 Evolução das diferenças volumétricas para Área Total (AT)

A) Intervalo C1 - Dezembro de 2013_ Julho de 2014:

Os resultados de volume de acreção em aproximadamente 65.000 m³ entre Dezembro de 2013 e Julho de 2014 explicam de certa forma o padrão mantido conforme a definição conceitual exemplificada anteriormente (Tabela 15; Figura 29A).

Em regiões litorâneas com praias de morfologia semelhante à Ponta Grossa, o que geralmente ocorre é erosão. Por outro lado, ao longo de praias e ilhas barreiras, respeitadas as limitações de escala e área, Santos e Amaro (2011), definem que o primeiro semestre, geralmente corresponde ao intervalo construtivo para aporte sedimentar e consequente ganho de volume (SOUTO, 2004). Os autores discutem que pode existir uma oscilação temporal equitativa de seis meses para cada estágio dinâmico; porém, o mérito desafiador está em reconhecer com precisão o início de cada processo. Por exemplo, como definir o momento exato em que ocorre o “engordamento” de praia? Neste contexto, a lacuna a ser preenchida implica em identificar o “*start*” do processo costeiro (erosão e/ou acresção), já que as análises multiespaço-temporais se limitam a intervalos longos-decadais; médios inter/intra- anuais ou curtos-mensais. Exceto pelos produtos de Sensoriamento remoto produzidos por “Nanossatélites” que operam com o conceito de constelação e permitem a cobertura diária da superfície terrestre com altíssima resolução espacial (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019), são raras as informações de dados de monitoramento semanais ou diários.

B) Intervalo C2 - Julho de 2014_ Novembro de 2014:

Na segunda diferença volumétrica total, entre julho de 2014 e novembro (2011), parece ter havido um balanço sedimentar negativo. Conforme Figura 29B e Tabela 15 houve ganho líquido de 40.066 m³ e a soma regiões erodidas gerou um volume de perda igual a 42.247 m³. Estes resultados sugerem tênue perda volumétrica em torno de 2.181 m³, foi o primeiro intervalo em que as perdas superaram os ganhos, obviamente, considerando a cobertura de referência em julho de 2014 (Tabela 15; Figura 29B).

Existe um limiar estreito entre a evolução de praias arenosas e acúmulo de material atual em um dado instante de tempo. Essa relação é decisiva para investigar se existe paridade entre os padrões dinâmicos em área (2D) e volume (3D) (FERNANDES; AMARAL, 2013; FERNANDES *et al.*, 2015). Entre julho de 2014 e novembro de 2014, as modificações de disposição espacial da cobertura sedimentar e as alterações no contorno da LC são eminentes. Mesmo assim, existe a necessidade de se conhecer que setores da praia estudada tendem a receber ou fornecer sedimentos, ou seja, é importante gerar dados quantificáveis para que se

possa negar esses padrões. Sendo assim, a Figura 29B apresenta que a cobertura arenosa da barra arenosa mais externa pode sim ter perdido volume, onde a perda de área foi coerente com o aumento das regiões erodidas (volume negativo) (Tabela 15; Figura 29B).

C) Intervalo C3 - Novembro de 2014_ Maio de 2015:

Na terceira análise das diferenças volumétricas entre novembro de 2014 e maio de 2015, ou seja, no ultimo intervalo de curto tempo; a quantificação apontou para um cenário de transição relevante. Os dados gerados conforme o mapa da Figura 29C e Tabela 15, permitem cogitar que no final de 2014 e meados de 2015, mesmo com pequeno crescimento em área, o aporte sedimentar pelo ganho de volume parece marcar o retorno do período construtivo. Com um ganho significativamente acentuado, a praia engordou em toda extensão norte, no sentido mar a dentro (SE-NW). Em síntese, os ganhos corresponderam a 81.695 m³, a perdas 14.848 m³, o que implicou no balanço sedimentar positivo de 66.847 m³ (Tabela 15; Figura 29C).

Souza *et al.*, (2016) afirmam ainda que a Linha de Costa associada as barras arenosas (cobertura arenosa) a “sotamar” do promontório possivelmente sustentam o balanço sedimentar e podem manter o processo de acreção devido ao elevado volume de sedimentos fornecidos pelo campo de dunas sobre a falésia do pontal rochoso (*by-pass*) da Praia de Ponta Grossa.

D) Intervalo C4 - Dezembro de 2013_ Maio de 2015:

O balanço sedimentar global entre 2013 e 2015 em curto tempo correspondeu a ganhos de volumes em torno de 123.000 m³; 34.000 m³ de perdas; com uma diferença entre os ganhos e as perdas em 88.000 m³ (Tabela 15). Os mapas temáticos das diferenças do tempo inicial pelo final (dezembro de 2013 - Maio de 2015), foram de extrema importância para visualizar qualitativamente o setor da praia que sofreu maior interferência de perdas sedimentares (Figura 29D – superfície de cor vermelha), podendo ser considerado como relativamente sensível às forças erosivas. Já a região interna do setor praiial (Figura 29D – superfície de cor azul), no sentido continente a dentro (NW-SE) a princípio simula uma zona de amortecimento de acúmulo e fonte de sedimentos (Figura 28D; Figura 29D). Automaticamente, o resultado gerado permite supor que esta região da praia de ganho volumétrico positivo é a responsável pela frequente dominância dos ganhos volumétricos (Tabela 15; Figura 29D).

Em função dos resultados apresentados até o momento, cogitou-se a possibilidade de se dar a devida importância a identificação precisa do início dos processos erosivos ou deposicionais, ou seja, tentar descobrir quando houve a mudança do padrão de balanço

sedimentar positivo para negativo, quando de fato o processo erosivo começou. Em series históricas curtas, identificar esse “tempo” é relativamente difícil, mesmo assim é possível integrar outros dados que juntos podem preencher essa lacuna temporal.

E) Intervalo **C5** - Maio de 2015_ Maio de 2018:

Dando início a análise de médio tempo e longo prazo entre maio de 2015 e maio de 2018, a partir dos mapas da Figura 29E e análise da Tabela 15, os resultados para ganho, perda e diferença foram respectivamente 181.499 m³; 25.672 m³ e 155.827 m³. Conveniente perceber que mesmo após três anos a deposição continuou forte (Tabela 15; Figura 29E).

Do ponto de vista geomorfológico, segundo a Figura 28 (D e E); Figura 29 (E e F), os MDEs gerados parecem ter apresentado as melhores diferenciações das feições encontrada na praia, ou seja, conforme Morais (1996), através destes modelos, obteve-se a melhor representação das variações de relevo acerca das feições existentes no local.

F) Intervalo **C6** - Dezembro de 2013_ Maio de 2018:

Entre 2013 e 2018 (Tabela 15; Figura 29F), a deposição sedimentar associada ao último intervalo de longo prazo da evolução “*multitempo*” ilustrou o cenário mais robusto. Respectivamente, os resultados para ganho, perda e diferença entre ganho e perda foram: 321.773 m³; 615 m³ e 321.159 m³, os ganhos foram imensamente superiores as perdas líquidas. A princípio, embora existam processos erosivos frequentes ao litoral de Icapuí nos últimos anos, em Ponta Grossa a deposição sedimentar parece elasticamente perdurar. Caráter ambiental que confere a esta unidade da paisagem litorânea um papel importantíssimo no equilíbrio do balanço sedimentar local, pontual e talvez municipal. É razoável considerar que a ocorrência dos processos erosivos é mínima, onde o balanço sedimentar resultante outra vez ratifica a tese de ganho positivo em tempo espaço, volume e área conforme hipótese testada (Tabela 15).

Tendo em vista o fechamento desta análise para toda extensão das barras arenosa conforme Figura 28 e Figura 29, segundo Pinheiro; Morais; Medeiros (2001), o ápice da erosão costeira estadual e especialmente em Icapuí concentra-se entre os anos de 2011 e 2014. O esclarecimento do recuo da LC (retrogradação) ou esporádico “engordamento” sedimentar geralmente estão associados ou podem ser exemplificados pelo período de seca extrema enfrentada no Ceará e que eficazmente modifica a dinâmica do aporte de sedimentos advindos de porções continentais. Paradoxalmente, a “estocasticidade” ambiental da “seca” serve para apreciar a resistência elástica da praia Ponta Grossa em manter processos de progradação das LCs (Figura 17 e Figura 20) ocasionados pela migração de cordões arenosos na direção da praia (Morais *et al.*, 2006), o justifica em partes a deposição global total até o mês de maio de 2018.

Estes padrões de substituição entre Erosão e Acresção (Figuras 29C; Figura 29D; Figura 29E), podem sim se relacionar com o que foi exposto na Figura 17 e especialmente na Figura 20, onde a progradação e retrogradação das LCs são explicadas presumivelmente ante o aparecimento dos estuários, canais efêmeros, promontórios rochosos, obras proteção ou intervenção humana (Morais *et al.*, 2017).

5.3.4.2 Evolução das diferenças volumétricas para Área Piloto (AP)

É de conhecimento que o perímetro de cada campo (Dez/2013; Jul/2014; Nov/2014; Mai/2015 e Mai/2018) foi desigual. Para equacionar a questão, criou-se uma janela espacial pertinente a interseção entre todos os campos, representativa do recorte da área piloto (Tabela 16; Figura 12; Figura 30A; 30B; 30C; 30D; 30E).

Comparativamente, baseados em uma poligonal fixa de mesmo perímetro, o objetivo foi avaliar se neste recorte os ganhos ou perdas seriam ligeiramente diferentes. Para o recorte da área piloto, todos os resultados apresentados, tanto nas planilhas como nos mapas, foram semelhantes no que se refere a valores de ganho/perda de volume/área e na manutenção dos padrões disposição e composição da área de estudo (SOUTO *et al.*, 2006). Certamente, devido ao recorte, quando comparados os resultados da área total em função da região piloto, tanto a quantificação do volume quanto de área, foram menores para AP.

A) Intervalo C1 - Dez/2013_ Jul/2014:

Nota-se que na área piloto (AP) (Figura 30A) comparando a disposição das manchas azuis (ganho ou deposição) e manchas vermelhas (perda ou erosão) em relação a área total (AT) (Figura 29A), os padrões tanto em volume como em área se mantêm. A Tabela 16 em contraste a Tabela 15 expõe os resultados quantitativos relativos aos padrões espaciais mencionados.

Semelhante ao que aconteceu na quantificação volumétrica de Santos *et al.*, (2012) e Santos; Amaro, (2013), conforme Tabela 16, os valores de ganho de 49.502 m³, perdas de 938 m³ e “saldo” volumétrico em torno de 48.564 m³, reforçam que mais uma vez houve balanço sedimentar positivo. A diferença em área (m²) entre “Aumento” e “Redução” das mesmas coberturas (deposicionais/erosivas) implicam em domínio positivo. Quando comparado ao volume/área da AP com volume ao volume/área da AT os resultados positivos das diferenças quantitativas (m³/m²) se repetem (SOUTO *et al.*, 2006).

B) Intervalo C2 - Jul/2014_ Nov/2014:

Detendo-se apenas ao resultado das diferenças (Tabela 16; Figura 30B), para este recorte espacial, resultados da subtração sustentam quantitativamente valores positivos. Em volume G-P corresponde a 21.266 m³ e em área A-R é igual a 62.399 m².

Ainda no contexto de balanço sedimentar em detrimento das feições encontradas na região costeira mapeada (Figura 15A; Figura 15B; Figura 30B), Morais (2000) explora a dinâmica do ambiente praiar e propõe uma subdivisão em classes conforme à morfologia da praia e suas peculiaridades. Retomando a revisão desta tese, basicamente se tem: a) Pós-Praia: porção representativa do limite superior da praia; b) Praia ou Zona Intertidal: corresponde ao também denominado estirâncio, representa o setor exposto da praia durante maré baixa e preamar; e finalmente c) Ante-praia: região da praia que se conserva submersa pelas águas oceânicas. Assim sendo, neste modelo, a espacialização da região que sofreu erosão se concentra “justapostamente” no estirâncio. Visivelmente, é notório que, na transição da Figura 30A para a Figura 30B ocorre a gênese dos processos erosivos, além de apresentar entre todos os intervalos o menor valor entre a diferença de volume G-P igual 21.266 m³ (Tabela 16). Foi o único momento de toda serie histórica que as evidências de perda sedimentar se tornaram mais contundentes na dinâmica do ambiente praiar (MORAIS, 1996; MORAIS, 2000).

C) Intervalo C3 - Nov/2014_ Mai/2015:

No período C3 (Tabela 16; Figura 30C) os ganhos líquidos volumétricos e o aumento em coberturas de acreção sedimentar continuam positivos. Em relação aos dados da Tabela 15 (AT - área total), os padrões espaço-temporais se preservavam independentemente do perímetro da barra arenosa. Em volume G-P corresponde a 46.565 m³ e em área A-R é igual a 113.098 m², ou seja, ganho de volume e crescimento em área (Tabela 16).

Semelhantemente ao intervalo anterior, os processos deposicionais relativamente estáveis (Tabela 16; Figura 30C), por influência das ações humanas podem ter seu equilíbrio dinâmico desfeito perdendo espaço para ocorrência da erosão costeira (MORAIS, 1996). Empreendimentos de grande porte ou elevado potencial poluidor, implicam em atividades de origem antrópica que “fatalmente” modificam a dinâmica natural do ambiente (FERNANDES *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016) que de modo consequente, podem acarretar impactos permanentes ou irreversíveis sobre a entrada e saída de sedimentos da praia (estirâncio), oportunizando o surgimento de processos erosivos devido à diminuição do suprimento sedimentar da área impactada (MORAIS, 1996; MORAIS, 2000).

Percebe-se que as perturbações de origem antrópica sobre a zona costeira, tem produzido impactos negativos menos frequentes em praias ainda protegidas e preservadas no que se refere a qualidade ambiental. Por exemplo, na praia de Ponta Grossa, embora existam impactos sobre dunas frontais (ocupação desordenada, mineração); dunas fixas (desmatamento e queimada da vegetação) e até mesmo barramentos de cursos d'água (rios e córregos intermitentes), estas perturbações ainda são incipientes (PINHEIRO *et al.*, 2000; PINHEIRO; MORAIS; MEDEIROS 2001, PINHEIRO; MORAIS; MAIA 2016).

D) Intervalo C4 - Dez/2013_ Mai/2015:

No intervalo C4 tanto para a AP (Tabela 16; Figura 29D) quanto para AT (Tabela 15) o valor pertinente ao ganho volumétrico e aumento da área continuam positivos e os padrões espaciais das manchas deposicionais/erosivas dentro da poligonal tracejada são iguais (Figura 29D e Figura 30D). Quantitativamente G-P corresponde a 115.758 m³ e em área A-R é igual a 152.277 m², ou seja, ganho de volume e crescimento em área. Orientado por SANTOS *et al.*, (2012), outra propriedade relevante pode ser notada na Tabela 17:

Tabela 17 – Monitoramento da dinâmica sedimentar (m³ e m²) em função dos intervalos dos ciclos construtivos e destrutivos segundo anos e meses (modificado de SANTOS *et al.*, 2012).

Ano	2013			2014					2014				2015					
Meses	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Período	Construtivo								Destrutivo				Construtivo					

Fonte: O autor.

Verdadeiramente parece existir entre dezembro de 2013 e maio de 2015, domínio temporal dos ciclos construtivos em relação aos eventos erosivos. Inclusive, tomando como referência apenas o ano de 2014, são 8 meses de aporte sedimentar contra 4 de perdas.

E) Intervalo C5 - Mai/2015_ Mai/2018:

No intervalo C5 ocorre um padrão espaço temporal diferenciado em função da relação entre “volume x área” da janela espacial AP (Tabela 16; Figura 30E). Como mencionado outras vezes, este é o período que marca o início da análise de médio tempo e longo prazo. Retomando os resultados da AT (Tabela 15) onde G-P foi igual a 155.827 m³ e A-R igual a 71.237 m² quando comparados aos resultados da Tabela 16 da AP, observa-se que houve sutil modificação nos padrões de disposição das manchas vermelhas (Figura 30E), ou seja, a erosão sedimentar (A-R) com aumento dos valores negativos em 6.461 m², ocupa maior área (m²). Ainda assim, mesmo havendo avanço da erosão costeira em área, não houve perda volumétrica, pelo contrário, a diferença G-P foi igual 37.967 m³. Nesta perspectiva em área a hipótese do

trabalho foi negada, mas quando se resgata os valores de volume, mais uma vez fica comprovadamente assegurado que o balanço sedimentar positivo predomina (SOUTO *et al.*, 2006).

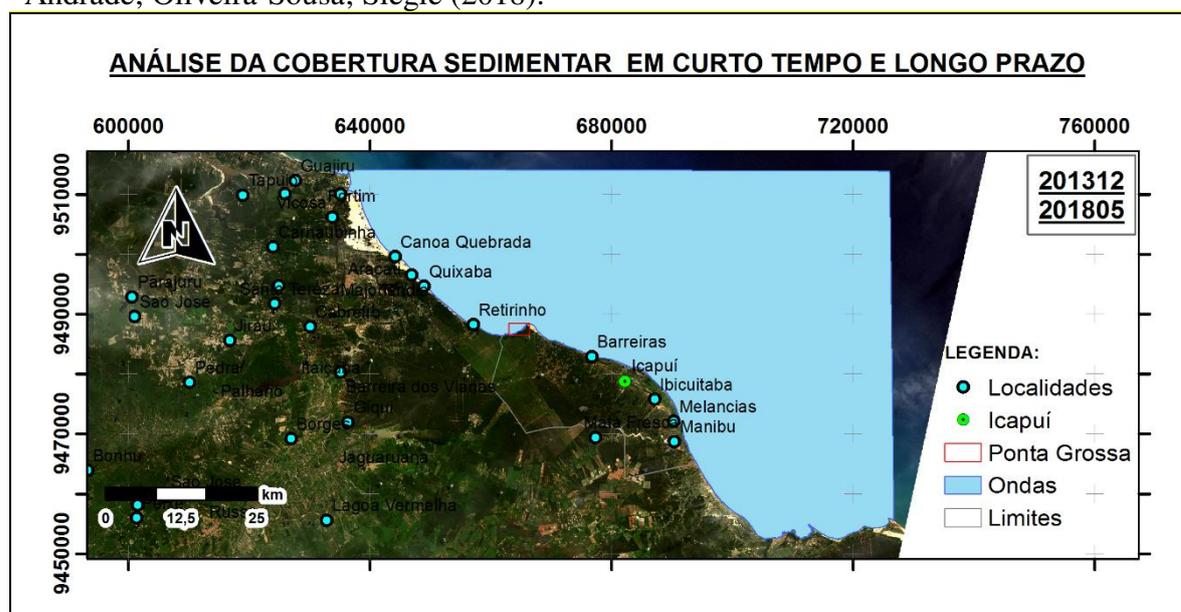
F) Intervalo C6 - Dez/2013_ Mai/2018:

Finalmente, no período C6 (Tabela 16; Figura 30F), o balanço sedimentar global (longo prazo) atesta que os resultados para ganho (m^3) e aumento (m^2) são substancialmente maiores. O volume foi igual a 155.995 m^3 e a área 186.002 m^2 , assim sendo, tanto para AP (Figura 30) como para AT (Figura 29) os resultados foram similares.

Em trabalho realizado por Andrade; Oliveira-Sousa; Siegle (2018), um conjunto de seis praias localizadas no município de Guarujá, que faz parte da Região Metropolitana da Baixada Santista, na porção central do litoral paulista foram estudadas para avaliar a vulnerabilidade da praia à erosão com base em indicadores ambientais. Esses autores correlacionaram modelos de terreno (MDE) com altura significativa, direção e período de onda. Assim como em Andrade; Oliveira-Sousa; Siegle (2018), cabe esclarecer que os parâmetros hidrodinâmicos mencionados pertencem a uma pequena escala espacial, enquanto os dados planialtimétricos gerados para a praia estão em escala de detalhe.

Tendo em vista as limitações espaciais, com base no banco de dados de clima de ondas fornecidos pelo modelo *Wavewatch3* (WW3) (Tolman, 2014), conforme os dados da Figura 31 e Tabela 18, é possível avaliar eventuais correlações de causa e efeito entre os parâmetros de ondas e os padrões deposicionais de ganho volumétricos encontrados na praia de em Ponta Grossa. Para Andrade; Oliveira-Sousa; Siegle (2018), integrar estes indicadores ao balanço sedimentar pontual se deve ao fato de que ondas; segundo Moura (2012) por definição podem ser entendidas como a modificação da superfície de um corpo d'água movidas geralmente pela competência dos ventos. E a medida que elas se aproximam da praia, em função do atrito com piso marinho, modelam a linha de costa por influência direta da deriva litorânea responsável pelo transporte sedimentar de origem marinha (Souza, 2012).

Figura 31 – Wavewatch3 (WW3): recorte da janela espacial em cor azul claro para análise dos parâmetros altura significativa, direção e período significativo de ondas. Adaptado de Andrade; Oliveira-Sousa; Siegle (2018).



Fonte: O autor.

Tabela 18 – Wavewatch3 (WW3): valores mínimos, médios e máximos para análise dos parâmetros altura significativa, direção e período significativo de ondas.

DATA	<i>hs</i> - Altura significativa de onda (m)			<i>dp</i> - Direção de onda (°)			<i>tp</i> - Período de onda (s)		
	<i>Min</i>	<i>Med</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Med</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Med</i>	<i>Max</i>
Dez/2013	1,10	1,63	2,12	0,2	60,2	359,9	4,67	10,54	20,27
Jul/2014	0,98	1,43	1,88	28,2	85,5	118,6	4,26	5,78	11,55
Nov/2014	1,16	1,61	2,13	3,1	76,5	216,8	4,71	8,46	16,54
Mai/2015	0,98	1,41	1,89	2,2	81,5	217,0	4,35	5,68	15,31
Mai/2018	0,77	1,09	1,59	9,6	39,7	217,2	4,26	8,05	15,14

Fonte: Adaptado de Andrade; Oliveira-Sousa; Siegle (2018).

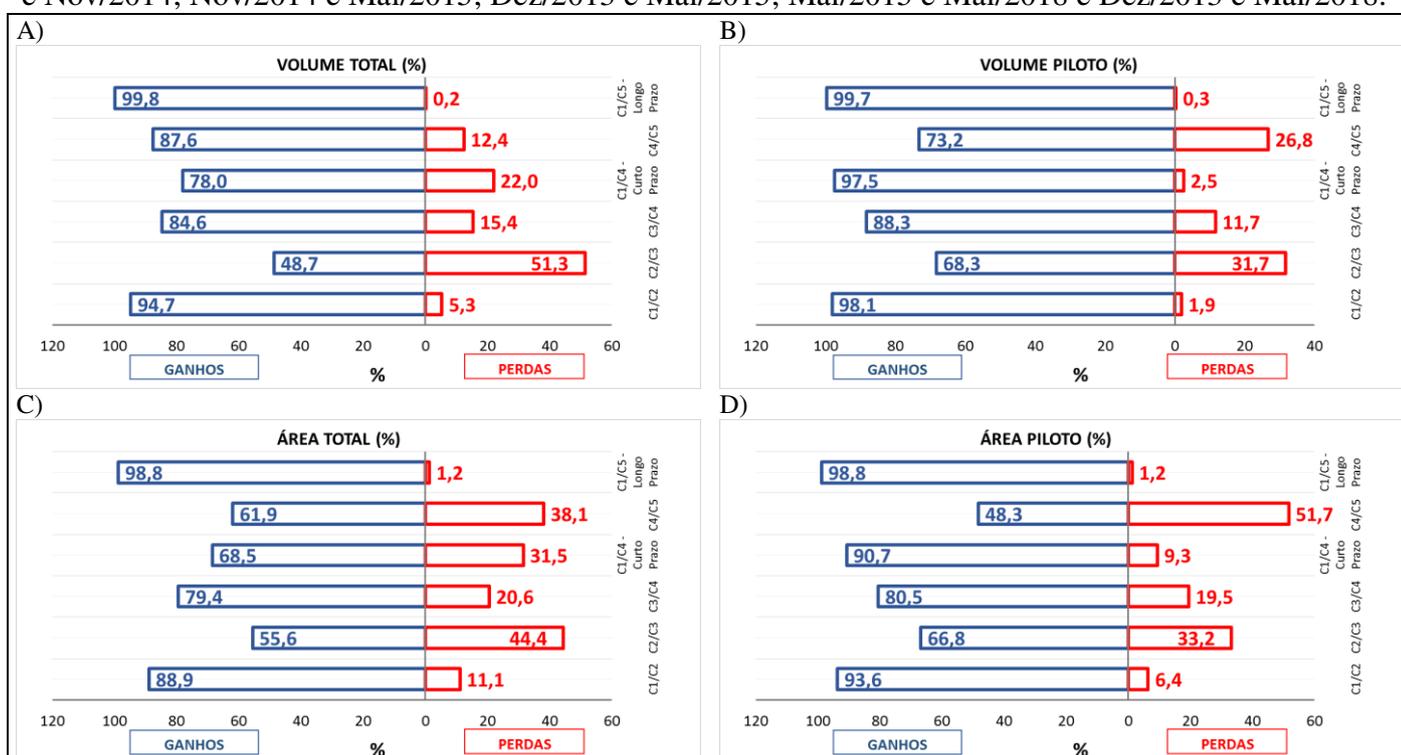
O trecho costeiro analisado apresenta de acordo com o banco de dados filtrado entre 2013 e 2018, em relação os valores médios elevados (Tabela 18): uma Altura significativa (*Hs*) de **1,63m** em dezembro de 2013; um Período das ondas significativas (*Tp*) de **10,54s** também para 2013; Direção de onda (*Dp*) em **85,5°** para julho de 2014. Em um cenário oposto, os valores médios baixos foram: maio de 2018 com Altura (*Hs*) de **1,09m**; maio de 2015 com Período das ondas (*Tp*) de **5,68s**; e maio de 2018 com Direção de onda (*Dp*) em **39,7°**.

Considerando apenas o tempo inicial e final, entre 2013 e 2018 é plausível afirmar que: A) Em 2103 os maiores valores de Altura (*Hs*) e período (*Tp*), característica específica de ondas de alta energia, podem justificar o menor volume de sedimentos em 2013. Geralmente, quando o grau de Direção de onda é elevado, a retirada de sedimentos pela corrente litorânea

pode se intensificar. É o que pode ter acontecido em 2013. B) Em 2018, os valores médios das Alturas significativas (H_s); dos Períodos Significativos (T_p) e da Direção de onda (D_p) foram inferiores, o que significa dizer que nestas condições pode eventualmente haver ganho de volume por aporte sedimentar, já que a altura e frequência são possuem os menores valores e a direção também possui valor menor em relação de 2013 para 2018.

Ainda na discussão do trabalho para melhorar a interpretação dos resultados, os dados de volume total e volume de área piloto (intersecção de todos os campos), área total e área piloto representativos da Tabela 15 e Tabela 16 podem ser apreciados em forma de porcentagem (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Gráficos do Resumo da quantificação de volume em percentual. Respectivamente: A) volume da área total; B) volume da área piloto; C) área total; D) área piloto. Respectivamente, C1/C2; C2/C3; C3/C4; C1/C4; C4/C5 e C1/C5 correspondem aos intervalos temporais entre Dez/2013 e Jul/2014; Jul/2014 e Nov/2014; Nov/2014 e Mai/2015; Dez/2013 e Mai/2015; Mai/2015 e Mai/2018 e Dez/2013 e Mai/2018.



Fonte: O autor.

Alguns estudos, como o de Pinheiro; Morais; Maia (2016) sobre a “morfodinâmica” da costa cearense afirmam que as praias do litoral do Estado do Ceará são predominantemente modificadas por maré. Todavia, na praia de Ponta Grossa e no seu entorno, conforme a ilustração dos resultados, existem fatores ou processos em escala local e pontual que justificam e elevada disponibilidade de sedimentos, um desses pode ser explicado pela deriva litorânea no sentido E-W ou pela geometria peculiar destas praias.

A análise coletiva da evolução sedimentar para quantificação do volume (Gráfico 1) resume facialmente a dominância dos padrões deposicionais para a praia de Ponta Grossa. No eixo “x” observa-se a proporção da porcentagem dos ganhos e perdas volumétricas em função do eixo “y” pertinente aos intervalos temporais C1/C2; C2/C3; C3/C4; C1/C4; C4/C5 e C1/C5 (Dez/2013 e Jul/2014; Jul/2014 e Nov/2014; Nov/2014 e Mai/2015; Dez/2013 e Mai/2015; Mai/2015 e Mai/2018 e Dez/2013 e Mai/2018). Com exceção dos períodos da análise multitemporal C2/C3 (Gráfico 1A) e C4/C5 (Gráfico 1D) onde a erosão avançou 51%, os gráficos supraditos confirmam “quali-quantitativamente” que os processos costeiros responsáveis pelos ganhos e aporte sedimentares são dominantes em múltiplas escalas de tempo e espaço.

Semelhantemente ao cenário de deposição apontando no parágrafo anterior, Portela *et al.*, (2014), analisou a evolução da paisagem costeira entre 1975 e 2013, na Praias de Ponta Grossa e Redonda, e assinala uma predominância de acreção provavelmente em função da disponibilidade de sedimentos presentes em campos de dunas e falésias. Evidentemente, que o processo se intensifica pela ação constante da deriva litorânea na área condicionada a presença de um promontório rochoso que controla a hidrodinâmica deste setor praial. Ainda sob a ótica da discussão dos resultados, é intuitivo afirmar que os processos de “estabilização de aporte sedimentar” nas três escalas de mapeamento (LC/ Figura 16; Cobertura Sedimentar/Figura 26 e MDE/ Figura 29) convergem para um “gargalo” comum: proteção dos Depósitos Eólicos e Litorâneos na totalidade da sua extensão. Os dados apresentados sugerem intensa dinâmica de acúmulo sedimentar ao invés de perdas.

Isto posto, a aplicação deste trabalho de forma direta está em fornecer subsídios teóricos, metodológicos, representados por resultados que confirmam a hipótese de que a praia de Ponta Grossa possui padrões espaço-temporais predominantemente de praia construtiva, de ganho de área e volume sedimentar. Sobretudo nesta praia, mesmo sendo um ambiente “resiliente”, o uso e ocupação deste estreito setor costeiro, deve estar condicionado ao monitoramento e manutenção do balanço sedimentar positivo fornecido pelo campo de duna eólica superposto ao promontório rochoso desta praia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Todo banco de dados de imagens adquiridas, as integrações de dados matriciais e vetoriais realizadas foram bastante exploradas para analisar, identificar, mapear e quantificar as coberturas sedimentares da praia de Ponta Grossa, Icapuí/CE.

A aplicação da técnica de fusão de imagens é rotineiramente usada para integrar produtos de um mesmo sensor, sendo a fusão de imagens de plataformas diferentes não comumente aplicada, entretanto a integração de produtos imagens proposta e realizada neste trabalho consiste em uma eficaz ferramenta de geoprocessamento para auxiliar estudos em tempo curto e escala fina.

Análise das estatísticas de correlação e da contribuição das Principais Componentes (PCAs) foi terminantemente útil para gerar produtos cartográficos pertinentes ao mapeamento das feições sedimentares com elevado grau de confiança gerando resultados que permitiram, de maneira orientada, a manipulação de imagens coloridas, nos sistemas de cor IHS e RGB, o realce seguro das feições sedimentares por setores (análise de LC) e localmente na praia de Ponta Grossa.

Conforme a análise de Linha de Costa para o Setor Oeste (1), pelos resultados houveram evidências maciças que os processos deposicionais foram predominantes. Principalmente porque o promontório de Ponta Grossa favoreceu o acúmulo sedimentar na área agindo ambientalmente como uma grande fonte de sedimentos oriunda da deriva litorânea predominante, e potencialmente das dunas que “capeiam” as falésias.

Exceto no intervalo entre Jul/2014 e Nov/2014, o balanço sedimentar volumétrico entre Dez/2013 e Jul/2014; Nov/2014 e Mai/2015; Dez/2013 e Mai/2015; Mai/2015 e Mai/2018 e finalmente entre Dez/2013 e Mai/2018 implicaram necessariamente na predominância do ganho de volume positivo na análise global dos resultados, com excedente de sedimentos VOLUME TOTAL em 321.159 m³ e VOLUME PILOTO em 155.541 m³.

Exceto no intervalo entre Jul/2014 e Mai/2015, a quantificação da área nas imagens de sensoriamento remoto produzidas no Processamento Digital de Imagens entre Jun/2012; Dez/2013; Jul/2014 e Mai/2015 implicaram absolutamente na superioridade do ganho de área de acresção na análise global dos resultados, com excedente de sedimentos em 114. 569m².

De fato, pode-se concluir a modelagem das diferenças, tanto em área quanto em volume, produziram dados confiáveis acerca do material sedimentar quantificado, sendo

possível afirmar que todo do litoral de Icapuí vem sendo impactado por processos erosivos ou deposicionais intercalados; e que tanto em área quanto em volume, a praia de Ponta Grossa, apresenta tendência atual de deposição sedimentar.

Admitiu-se que as causas do “engordamento” sedimentar predominante, segundo literatura citada e resultados produzidos, justificam-se: pelo aporte de sedimentos marcantes do aumento positivo de área e volume; pela mobilização de sedimentos da deriva litorânea (W-E); pela abertura de um estreito e pequeno canal em 2014 (coordenadas *664766,366 E; 9487562,798 S*), pela efêmera contribuição sedimentar da duna móvel sobreposta ao promontório; e pela configuração espacial da LC da praia de Ponta Grossa protegida pela geometria do Pontal Rochoso que no sentido da deriva litorânea age protegendo a praia de ação das ondas, conseqüentemente, favorecendo deposição.

Portanto, se conclui que a hipótese lançada (testada) é verdadeira. Tendo em vista que o litoral de Icapuí resiste ao avanço dos processos erosivos, de tal forma que persistem fortes evidências da predominância de padrões espaço-temporais que favorecem a deposição sedimentar.

Da mesma forma entende-se que a metodologia usada para associar imagens de múltiplas plataformas de sensores diferentes não anula a hipótese levantada por representar uma técnica eficaz para integração de dados espectrais e espaciais em escalas de detalhe.

6.2 Recomendações

Contextualizar os resultados de área e volume com series históricas de precipitação, ventos e marés. Incluir as informações de parâmetros hidrodinâmicos relativos a frequência, altura e velocidade de onda; direção e velocidade de corrente.

Paralelamente aos levantamentos planialtimétricos de campo, realizar a coleta de na praia (estirâncio) na interface seco/ molhado para realizar a análise granulométrica (peneiras) em Ponta Grossa.

Vale salientar que o setor e subsetores estudados estão “mergulhados” em uma paisagem eminentemente dinâmica. Do ponto de vista da evolução da linha de costa, em pouco tempo percebe-se alterações na geomorfologia das coberturas sedimentares e substituição das áreas susceptíveis a erosão ou acresção sedimentar. Por esta razão é de fundamental importância proteger ou preservar aquelas unidades da paisagem responsáveis por assegurar o equilíbrio natural do balanço sedimentar da praia.

Dentro deste contexto é recomendável: a) para toda linha de costa municipal; proteger os cordões de dunas frontais ainda ativos ou em processo de estabilização, b) para a cobertura sedimentar local em Ponta Grossa (PG); evitar impactos de origem antrópica que interrompam a gênese intermitente de pequenos canais adjacentes a praia, c) para o balanço sedimentar volumétrico positivo em PG; impedir veementemente ocupações artificiais sobre a praia que comprometam o aporte de sedimentos de origem marinha carregados pela deriva litorânea local.

No tocante a expansão e aperfeiçoamento da técnica, há necessidade da realização do acompanhamento da evolução sedimentar nas praias adjacentes à Ponta Grossa (litoral de Icapuí/CE), obviamente em escala de mapeamento fina, preferencialmente tempo curto, usando geotecnologias semelhantes. Bem como realizar mapeamento em series histórica do campo de duna móvel desprovida de vegetação disposto sobre o promontório rochoso da praia. O monitoramento tem por objetivo complementar produzir dados e informações sobre a ocorrência de padrões deposicionais positivos, sobre o tempo exato em que estes ocorrem e qual a causa da predominância deles.

Mesmo sendo um trabalho essencialmente metodológico, em uma visão holística dos processos costeiros que orientam os padrões estabelecidos no tempo e espaço entre 1985 e 2018, os parâmetros supracitados ajudariam a esclarecer a causa exata dos ganhos de volume e acréscimo em área predominantemente (positivos) na análise da linha de costa em Icapuí e pontualmente para a cobertura sedimentar da praia de Ponta Grossa.

REFERÊNCIAS

- AIELLO, A.; CANORA, F.; PASQUARIELLO, G.; SPILOTRO, G. (2013) Shoreline variations and coastal dynamics : A space e time data analysis of the Jonian littoral , Italy. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 129, p. 124–135.
- ALLAN, R.J.; T. ANSELL. (2006) A new globally complete monthly historical gridded mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850-2004. **Journal of Climate**, v. 19, p. 5816-5842.
- ALMONACID-CABALLER, J.; GARCÍA, E. S.; PARDO-PASCUAL, J. E.; BALAGUER-BESER, A. A.; PALOMAR-VÁZQUEZ, J. (2016) Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. **Marine Geology**, v. 372, p. 79–88.
- 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. ISBN 988-85-913746-0-1.
- AMARO, V.E.; FERREIRA, A.T.S. (2012) Imagens do AQUA-MODIS aplicadas à estimativa dos valores de clorofila-a e da temperatura da superfície do mar na zona offshore da Bacia Potiguar no Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia**, UFC, Edição Especial HIDROSEMA, v. 25: p.128 - 142. ISSN-0103-2410.
- ANDRADE, T.S.; OLIVEIRA-SOUSA, P.H.G.; SIEGLE, E. (2018) Vulnerability to beach erosion based on a coastal processes approach. **Applied Geography**.102. 12–19.
- ARAGONÉS, L.; PAGÁN, J. I.; LÓPEZ, I.; SERRA, J. C. (2018) Depth of closure : New calculation method based on sediment data. **International Journal of Sediment Research**, v. 33, n. 2, p. 198–207.
- ARAÚJO, I. R. G. DE; GOMES, É. R. (2017) Análise multitemporal da Linha de Costa da praia de Macapá no litoral do Piauí a partir de imagens Landsat. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 189–200.
- AZEVEDO, J. W. DE J.; CASTRO, A. C. L.; SANTOS, M. C. F. V. DOS. (2016) Siltation rate and main anthropic impacts on sedimentation of the São Luís tidal inlet - State of Maranhão, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 1, p. 9–18.
- BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; MARTINS, V.S. (2019) Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações. 1ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 161p.
- BIO, A.; BASTOS, L.; GRANJA, H.; PINHO, J.L.S.; GONÇALVES, J.A.; HENRIQUES, R.; MADEIRA, S.; MAGALHÃES, A.; RODRIGUES, D. (2015) Métodos de monitorização costeira e avaliação de risco de erosão: dois estudos de caso portugueses. * Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. **Revista Gestão Costeira Integrada Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 15, n. 1, p. 47–63.

BRASIL. (1988) Lei N° 7661. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro**. [Online] 16 de Maio de 1988. [Citado em: 04 de Agosto de 2018.]
http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/Leis/L7661.htm

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2018) **Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa**. 1. ed. Brasília - Distrito Federal.: [s.n.].

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. (2011) Instituto Chico Mendes – Icmbio. **Menu Serviços**. Disponível em:
<http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>. Acesso em: 13 Mai 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (2011) **Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**. Portaria n° 206, de 4 de setembro de 2018. Diário Oficial da União, Brasília, n° 172, 5 set. 2018. Seção 1, p. 22. Disponível em:
http://www.imprensanacional.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/39729251/do1-2018-09-05-portaria-n-206-de-4-de-setembro-de-2018-39729135. Acesso em: 19 out. 2018.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. (2011) **GeoSGB**. Disponível em:
<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 13 Mai 2011.

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. (2015) Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Anais...João Pessoa - Paraíba - Brasil: 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0727.pdf>

CEARÁ. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. (2017) **Perfil Municipal de Icapuí**. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Icapui_2017.pdf. Acesso em: 13 Abr 2012.

CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE. (2012). (2012) Carcinicultura-Litoral leste do estado do Ceará. **Relatório final**. Disponível em:
http://antigo.semace.ce.gov.br/programas/gerco/Carcinicultura/1_DiagnosticoIcapui.pdf. Acesso em: 25 Mai 2012.

CEARÁ. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMACE. (2016) Reestruturação e atualização do mapeamento do projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – zona costeira e unidades de conservação costeiras - **Relatório final de caracterização ambiental e dos mapeamentos**. Fortaleza: 475 p., il.

CHAVES, P.S.; SIDES, S.C.; ANDERSON, J.A. (1991). Comparison of three difference methods to merge multi resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. 57 (3), 295-303.

CRÓSTA, A. P. (1992). **Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto**. - ed.rev. – Campinas, SP, IG/UNICAMP, 4ª reimpressão. 170p.

ESRI. (2008) ARCGIS versão 9.3. **ESRI Software**.

ERMAPPER. (2009) Earth Resource Mapping versão 7.1 **ERMMapper Software**.

FARIAS, E. G. G. DE; MAIA, 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 * Use of Geoprocessing Techniques for Analysis of the Coast Line Evolution of Ceará State, Brazil. **Revista Gestão Costeira Integrada Journal of Integrated Coastal Zone Management**. v. 10, n. 4, p. 521–544.

FERNANDES, L. R.; SOUTO, M. V. S; DUARTE, C. R.; AMARO, V. E. (2015). Análise temporal em curto tempo das barras arenosas na praia de Ponta Grossa, região costeira de Icapuí/CE. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Anais...João Pessoa - Paraíba - Brasil: 2015. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.15.54.10>

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 * Coastal landscape of Rio Grande do Norte (Brazil) eastern coast: temporal evolution and special patterns of the mobile dune fields. **Revista Gestão Costeira Integrada Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n.1, March, p. 45–59.

FERREIRA, A. T. S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. (2013) Imagens do AQUA-MODIS aplicadas à estimativa e monitoramento dos valores de material particulado em suspensão na plataforma continental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, RBG. ISSN-2236-5664.

FERREIRA, A. T. S., SANTOS, M. S. T., FERNANDES, L.R., RIBEIRO, M. C. H. (2016) Mapeamento geomorfológico de detalhe para delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) de zonas costeiras em atendimento ao Cadastro Ambiental Rural (CAR). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, RBG. ISSN-2236-5664.

FLORENZANO, T.G. (2008) Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. *In*: Tereza G. Florenzano. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 31-71.

FORD, M. (2013) Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands. **Remote Sensing of Environment**, v. 135, p. 130–140.

GARRISON, T. (2010) Costas. *In*: T. Garrison. **Fundamentos de oceanografia**. Editora Cengage Learning, São Paulo, p.: 235-261.

GAO, B. (1996) NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment** 58, 257-266.

GEORGE, D.A.; LARGIER, J.L.; STORLAZZI, C.D.; BARNARD, P.L. (2015) Classification of rocky headlands in California with relevance to littoral cell boundary delineation. **Marine Geology**, v. 369, p. 137–152.

- GIARDINO, A.; SCHRIJVERSHOF, R.; NEDERHOFF, C. M.; DE VROEG, H.; BRIÈRE, C.; TONNON, P.-K.; CAIRES, S.; WALSTRA, D. J.; SOSA, J.; VAN VERSEVELD, W.; SCHELLEKENS, J.; SLOFF, C. J. (2018) A quantitative assessment of human interventions and climate change on the West African sediment budget. **Ocean and Coastal Management journal**, v. 156, n. December 2017, p. 249–265.
- GOODWIN, I. D.; FREEMAN, R.; BLACKMORE, K. (2013) An insight into headland sand bypassing and wave climate variability from shoreface bathymetric change at Byron Bay, New South Wales, Australia. **Marine Geology**, v. 341, p. 29–45.
- GOPIKRISHNA, B.; DEO, M. C. (2018) Geomorphology Changes in the shoreline at Paradip Port, India in response to climate change. **Geomorphology**, v. 303, p. 243–255.
- HEGDE, A. V.; AKSHAYA, B. J. (2015) Shoreline Transformation Study of Karnataka Coast: Geospatial Approach. **Aquatic Procedia**, v. 4, n. Icwrcoc, p. 151–156.
- HOPKINS, J.; ELGAR, S.; RAUBENHEIMER, B. (2017) Flow separation effects on shoreline sediment transport. **Coastal Engineering**, v. 125, n. October 2016, p. 23–27.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2016) Informações obtidas da página do IBGE na internet. **Posicionamento geodésico**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico.html>. Acesso em: 05 nov. 2016.
- INSTITUTOS NACIONAIS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – INCT. (2011) **Projeto mudanças climáticas em zonas costeiras**. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.zonascosteiras.com.br/temas/sumario-do-projeto>. Acesso em: 23 Mai 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. (2013) **Catálogo de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 25 Mai 2013.
- JAGALINGAM, P.; AKSHAYA, B. J.; HEGDE, A. V. (2015) Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery. *Procedia Engineering*, v. 116, n. Apac, p. 560–566.
- JENSEN, J.R. (1986) **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. Prentice–Hall. New Jersey.
- JENSEN, J.R. (2009) **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Ed parêntese (tradução).
- KRUG, L. A.; NOERNBERG, M. A. (2005) Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná – Brasil. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Goiânia- GO, Brasil, 16 a 21 de abril de 2005, INPE. Anais... Goiânia - Goiás, Brasil: 2005. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.15.11/doc/3077.pdf>

- KRUG, L. A.; NOERNBERG, M. A. (2007) O Sensoriamento Remoto como ferramenta para determinação de Batimetria de baixios na baía das laranjeiras, Paranaguá - PR. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 101–105.
- MARINO, M. T. R. D.; FREIRE, G. S. S. (2013) Análise da evolução da Linha de Costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil * Analysis of the shoreline evolution between the Future and Porto das Dunas Beaches, Fortaleza Metropolitan Region (FMR), Ceará State, Brazil. **Revista Gestão Costeira Integrada Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n.1, March, p. 113–129.
- MARINO, M.T.R.D.; FERNANDES, D.; MORAES, S.G., TAJRA, A.A. (2016) Vulnerabilidade física de parte do litoral leste do Ceará à erosão. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 38, p.253-281.
- MARTINS, K. A.; PEREIRA, P. S.; SILVA-CASARÍN, R.; NETO, A. V. N. (2017) The Influence of Climate Change on Coastal Erosion Vulnerability in Northeast Brazil. **Coastal Engineering Journal**, v. 59, n. 02, p. 1740007.
- MEDEIROS, E. C. DE S.; MAIA, L. P.; ARAÚJO, R. C. P. DE. (2016) Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia do Icaraí). Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil * Load capacity of a beach under the Impact of the erosion process coastal (Icaraí beach). Grants for coastal management of the state of Ceará, Brazil. **Revista Gestão Costeira Integrada Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 16, n.2, June, p. 185–193.
- MEDEIROS, N.; DIAS, M. S.; NETO, A. A.; MUEHE, D. (2014) Mapeamento acústico de areias submersas para recuperação de praias do Rio de Janeiro, Brasil * Acoustic mapping of submerged sands deposits for Rio de Janeiro beach nourishment, Brazil. **Revista Gestão Costeira Integrada Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 14, n.1, March, p. 149–158.
- MCFEETERS, S.K. (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing** 17, 1425-1432.
- MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M. G. C.; GORAYEBE, A.; THIERS, P. R. L. (2005) Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator**, 8, 109-134.
- MEIRELES, A.J.A.; MORAIS, J.O.; FREIRE, G.S.S., 1990. Os terraços holocênicos da planície costeira do município de Icapuí - extremo leste do Estado do Ceará. *In: Resumos do 36 Congresso Brasileiro de Geologia*. volume 2, p.709-718.
- MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. (2012) **Atlas de Icapuí**. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão.

- MENDONÇA, F. J. B.; GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; SILVA, L. M.; GREGÓRIO, M. N. (2014) Temporal shoreline series analysis using GNSS. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v. 20, n. 3, p. 701–719.
- MISRA, A.; BALAJI, R. (2015) A study on the shoreline changes and Land-use/land-cover along the south Gujarat coastline. **Procedia Engineering**, v. 116, n. 1, p. 381–389.
- MORAIS, J. O. (1996) Processos e Impactos Ambientais em Zonas Costeiras. **Revista de Geologia da UFC**, Fortaleza-CE, v.9, p 191-242.
- MORAIS, J.O. (2000) Compartimentação territorial e evolutiva da zona costeira do Estado do Ceará. In: LIMA, L.C. (Et al.). **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará**. Editora: FUNECE: Fortaleza, p: 106- 180.
- MORAIS, J.O.; FREIRE, G.S.S., PINHEIRO, L.S.; SOUZA, M.J.N.; CARVALHO, A.M.; PESSOA, P.R.S.; OLIVEIRA, S.H.M. Ceará. In: MUEHE, D. (2006) (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), p.131-154.
- MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S.; FREIRE, G.S.S., PESSOA, P.R.; GUERRA, R.P.; BARROS, E.L., MOURA, J.M. Ceará. In: MUEHE, D. (2017) (Org.). **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), p.261-288.
- 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.
- MORORÓ, E. A. A.; SILVA, R. M. N.; SOUTO, M. V. S; DUARTE, C. R. (2015) Análise de 22 anos (1991 - 2013) da evolução costeira para a porção do litoral cearense, a oeste da cidade de Fortaleza, por meio de imagens históricas da série Landsat. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Anais...João Pessoa - Paraíba - Brasil: 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1532.pdf>
- MOURA, M. R. (2012) **Dinâmica costeira e Vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará**. 206 f. Tese (Doutorado no Programa de Pós-graduação em Geografia) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- NATESAN, U.; PARTHASARATHY, A.; VISHNUNATH, R.; KUMAR, G. E. J.; FERRER, V. A. (2015) Monitoring Longterm Shoreline Changes along Tamil Nadu, India Using Geospatial Techniques. **Aquatic Procedia**, v. 4, n. Icwrcoc, p. 325–332, 2015.
- NEELAMANI, S. (2018) Coastal erosion and accretion in Kuwait e Problems and management strategies. **Ocean and Coastal Management**, v. 156, p. 76–91.
- NORDSTROM, K. F.; JACKSON, N. L.; FARRELL, E. J.; RAFFERTY, P.; TENGWALL, C. (2016) Restoring sediment to compensate for human-induced erosion of an estuarine shore. **Geomorphology**, v. 262, p. 37–46.

ODUM, E. P.; BARRET, G.W. (2007) **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Thomson Learnig.

OLIVEIRA, G. G. DE; MEIRELES, A. J. DE A. (2010). Dinâmica geoambiental a partir da “litoralização” de Aquiraz, Ceará, Brasil. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 5, n. 2, p. 50–68, 2010.

OUELLETTE, W.; GETINET, W. (2016) Remote sensing for Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Areas Management: Achievements, challenges, opportunities and future prospects. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 4, p. 138–157.

PAGÁN, J. I.; LÓPEZ, M.; LÓPEZ, I.; TENZA-ABRIL, A. J.; ARAGONÉS, L. (2018a) Causes of the different behaviour of the shoreline on beaches with similar characteristics. Study case of the San Juan and Guardamar del Segura beaches, Spain. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 739–748.

PAGÁN, J. I.; LÓPEZ, M.; LÓPEZ, I.; TENZA-ABRIL, A. J.; ARAGONÉS, L. (2018b) Study of the evolution of gravel beaches nourished with sand. **Science of the Total Environment**, v. 626, p. 87–95.

PATTANAİK, A.; SAHU, K.; BHUTIYANI, M. R. (2015) Estimation of Shallow Water Bathymetry using IRS-Multispectral Imagery of Odisha Coast , **India. Aquatic Procedia**, v. 4, p. 173–181.

PAULA, D.; DIAS, J.; FARRAPEIRA, C. (2013) Monitorização de curto prazo da Praia de Icaraí (Caucaia, Ceará, Brasil) após construção de estrutura rígida do tipo Badwall para controle da erosão. **XI Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Esressão Portuguesa VII Congresso dobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa**. Anais...2013.

PAULA, D. P.; FARRAPEIRA NETO, C. A.; SOUZA, M. A.; DIAS, J. M. A. (2014) Alterações morfológicas na praia do Icaraí (Caucaia- Ceará) após a construção de um dissipador de energia para controle da erosão costeira. **Revista Geonorte**, v. Edição Esp, n. 1, p. 12–16.

PEIXOTO, R. DOS S.; ROSMAN, P. C. C.; VINZON, S. B. A (2017) Morphodynamic model for cohesive sediments transport. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Brazilian Journal of Water Resources**, v. 22, n. 57.

PIKELJ, K.; RUŽIĆ, I.; ILIĆ, S.; JAMES, M. R.; KORDIĆ, B. (2018) Implementing an efficient beach erosion monitoring system for coastal management in Croatia. **Ocean and Coastal Management journal**, v. 156, n. November 2017, p. 223–238.

PINHEIRO, L. S. (2000) **Compatibilização dos Processos Morfodinâmicos e Hidrodinâmicos com o uso e ocupação da praia da Caponga-Cascavel-CE**. 185 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2000.

- PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; MEDEIROS, C. (2001) Mudanças da linha de praia e feições morfológicas em Cascavel, Estado do Ceará. **Arquivo de ciências do mar**, Fortaleza, v.34, n. 1, p. 117-130.
- PINHEIRO, L.S; MORAIS, J.O.; MAIA, L.P. (2016) The Beaches of Ceará, *In: Brazilian Beach Systems*. Volume 17 of the series Coastal Research Library; pp 175-199 DOI. 10.1007/978-3-319-30394-9_7 Springer International Publishing.
- PORTELA, J.P. FREIRE, G.S.S., MORAES, M.V.A.R.; SILVA, C.A. (2014) Evolução da morfologia costeira do litoral oeste de Icapuí – CE. **Revista Geonorte**. V. 5, n. 15.
- PSUTY, N. P.; AMES, K.; HABECK, A.; SCHMELZ, W. (2018) Responding to coastal change: Creation of a regional approach to monitoring and management, northeastern region , U.S.A . **Ocean and Coastal Management**, v. 156, p. 170–182.
- RIBEIRO, J. S.; SOUSA, P. H. G. O.; VIEIRA, D. R.; SIEGLE, E. (2013) Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia de Massaguaçu (SP), Brasil * Evolution of vulnerability to coastal erosion at Massaguaçu Beach, Brazil. **Revista Gestão Costeira Integrada Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n.3, December 2012, p. 253–265.
- RODRIGUEZ-DELGADO, C.; BERGILLOS, R. J.; ORTEGA-SÁNCHEZ, M.; IGLESIAS, G. (2018) Wave farm effects on the coast: The alongshore position. **Science of the Total Environment**, v. 640–641, p. 1176–1186.
- ROSA, E. M.; SILVEIRA, I. M. (2013) Identificação na formação de ilhas barreiras através do sensoriamento remoto no município de Guamaré/RN. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Anais...Foz do Iguaçu - Paraná - Brasil: 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.01.02.59>.
- ROSSETI, D. F. (2008) Ambientes Costeiros. *In: Tereza G. Florenzano. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 247-283.
- RÓŻYŃSKI, G. (2018) Critical Examination of Shoreface Sediment Volume as an Indicator of Coastal Stability in Poland. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, v. 144, n. 5, p. 04018009.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E. (2011) Rede geodésica para o monitoramento costeiro do litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 4, p. 571–585.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E. (2013) Dinâmica sazonal de processos costeiros e estuarinos em sistema de praias arenosas e ilhas barreira no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 93–95.

- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S.; BARBOZA, A. A.; FIGUEIREDO, M. C.; ARAÚJO, A. G. (2015) Methodology for mapping the coastal vulnerability due to mean sea level rise on local scale. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v. 21, n. 4, p. 691–705.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, A. L. S. (2012) Mapeamento de precisão da dinâmica costeira de curta duração em áreas de alta taxa de erosão no Nordeste do Brasil. **Revista de Geologia**, v. 25, HIDROSEMA-UFRN, p.7- 19.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; FERREIRA, A. T. S.; SANTOS, A. L. S. (2013) Altimetria GNSS de precisão aplicada ao monitoramento da dinâmica sedimentar costeira de curta duração em escala regional. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v. 19, n. 4, p. 624–638.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. S. (2011) Metodologia geodésica para levantamento de Linha de Costa e modelagem digital de elevação de praias arenosas em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63/5, p. 663–681.
- SILVA, G. V. (2016) **Transposição de sedimentos nos promontórios da costa norte da Ilha de Santa Catarina**. 130 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- SOUTO, M.V. S. (2004) **Análise multitemporal dos elementos geoambientais da região da Ponta do Tubarão, área de influência dos campos petrolíferos de Macau e Serra, município de Macau/RN**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica; Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.
- SOUTO, M.V. S.; CASTRO, A. F.; GRIGIO, A. M.; AMARO, V. E.; VITAL, H. (2006) Multitemporal analysis of geoenvironmental elements of the coastal dynamics of the region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the basis of remote sensing products and integration in GIS. **Journal of Coastal Research**, v. SI 39, p. 1618-1621.
- SOUZA, C. R. G. (2012) Praias arenosas oceânicas do estado de São Paulo (Brasil): Síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira. **Revista do Departamento de Geografia – USP307–371** Volume Especial 30 Anos.
- 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 Casa da Geografia de Sobral**, v. 18, n. 2, p. 20–35.
- SPLINTER, K. D.; GONZALEZ, M. V. G.; OLTMAN-SHAY, J.; RUTTEN, J.; HOLMAN, R. (2018) Observations and modelling of shoreline and multiple sandbar behaviour on a high-energy meso-tidal beach. **Continental Shelf Research**, v. 159, n. March, p. 33–45
- SULSOFT. (2003) ENVI versão 4.0. **SulSoft Software**.

SUGUIO, K. (2010) Geologia do Quaternário. *In: Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais*. Editora Oficina de Textos, São Paulo, p.: 13-101.

THOM, B. G.; ELIOT, I.; ELIOT, M.; HARVEY, N.; RISSIK, D.; SHARPLES, C.; SHORT, A. D.; WOODROFFE, C. D. (2018) National sediment compartment framework for Australian coastal management. *Ocean and Coastal Management journal*, v. 154, n. December 2017, p. 103–120.

TOLMAN, H. L. (2014) User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14.

USGS. (2015) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Image download**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em novembro de 2015.

USGS. (2018) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **ONI INDEX**. Disponível em: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em dezembro de 2018.

VAIDYA, A. M.; KORI, S. K.; KUDALE, M. D. (2015) Response to Coastal Structures. *Aquatic Procedia*, v. 4, n. ICWRCOE, p. 333–340.

WILLIAMS, A.T.; RANGEL-BUITRAGO, N.; PRANZINI, E.; ANFUSO, G. (2018) The management of coastal erosion. *Ocean and Coastal Management*, v. 156, p. 4–20.

YOSHII, T.; TANAKA, S.; MATSUYAMA, M. (2018) Tsunami inundation , sediment transport , and deposition process of tsunami deposits on coastal lowland inferred from the Tsunami Sand Transport Laboratory Experiment (TSTLE). *Marine Geology*, v. 400, n. April, p. 107–118.

XIMENES, D. R. B.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R. (2013) Análise multitemporal da Linha de Costa para avaliação da evolução costeira na região de Icapuí/CE, Nordeste brasileiro, no período de 1984 a 2011. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Anais...Foz do Iguaçu - Paraná - Brasil: 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.47.10>

APÊNDICE A – ONI INDEX (EL NIÑO - LA NIÑA)

Tabela com as variações temperatura: aquecimento El Niño (vermelho) – resfriamento LA Niña (azul) desde 1950 até 2018.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.5	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-0.9	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.0	0.8
1952	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.8	0.5	0.0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7
1955	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.5
1956	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1
1961	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2.0	2.0	1.7
1966	1.4	1.2	1.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0.0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1.0
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2.0
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
1979	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2

1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7		

Entre 1985 e 2015 (de 6 em 6 anos):

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6

Entre 2012 e 2018:

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7		

Fonte: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

APÊNDICE B – ALGUNS COMANDOS DO ARCGIS; ENVI E GNSS SOLUTIONS

ENVI 4.8 (SULSOFT, 2003): Classificação Supervisionada Máxima Verossimilhança

(*Menu > Classification > Supervised > Maximum Likelihood*);

ArcGis 9.3 (ESRI, 2008): Calcular área

(*ArcToolbox > Spatial Statistics > CalculateAreas_stats > Input_Feature_Class > Output_Feature_Class*);

ArcGis 9.3 (ESRI, 2008): Diferença Simétrica

(*arctoolbox > search > intersect > symmetrical difference*);

ArcGis 9.3 (ESRI, 2008): Edição dos TINs/ MDEs

(*ArcToolbox > 3D analyst tools > data management > TIN > create TIN*)

GNSS Solutions: Exportar txt com o valor de altitude (z) ortométrica - janela de edição inserir: o nome do formato de exportação; selecionar cuidadosamente os campos (*E; N; h; Desv_Est; Desv_Nort; Desv_Alt*) que serão exportados e finalmente salvar o arquivo com nome e diretório conhecidos.

APÊNDICE C – RELATÓRIO DE CAMPO (VISITAS PARA LEVANTAMENTO COM GPS DE PRECISÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS)

As ferramentas utilizadas para determinar esta etapa foram organizadas em procedimentos de Campo e Pós-campo; aquela relacionada ao levantamento topográfico na área de estudo (*in situ*); esta última pertinente ao Pré e Pós Processamento dos dados planialtimétricos coletados pelo GPS de precisão.

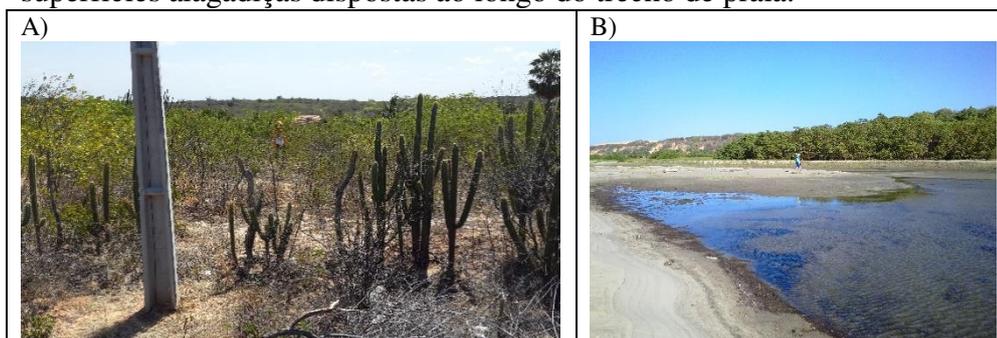
Como resumido anteriormente, os campos realizados tiveram como função realizar perfis planialtimétricos sobre as superfícies sedimentares da praia, a fim de identificar as topografias proeminentes que marcaram as feições geomorfológicas do setor. De forma geral, eles foram executados na maré baixa (preamar mais estendida) conforme tábua de marés consultada previamente e duração média de quatro horas. Estes foram realizados entre 10h e 17h, geralmente sem evidências de precipitação, poucas nuvens visualizadas, rajadas de ventos de moderadas a fortes.

O primeiro campo, em dezembro de 2013, foi realizado para implantação do marco geodésico na praia, neste se fez o primeiro rastreamento dos perfis para definição da Linha de Costa (LC) e edição do modelo digital de terreno (MDE). O segundo campo em julho de 2014 foi planejado para dois dias; o primeiro para localizar, transportar coordenadas e georreferenciar as referências de nível do IBGE (RNs) e o segundo dia para fazer o levantamento dos perfis (LC; MDE). O terceiro e quarto campo foram exclusivamente para realizar os perfis de praia, ou seja, definir LC e rastrear as feições de praia para modelagem do MDE.

Diante de uma dinâmica costeira bem semelhante entre os quatro campos, a intenção era observar como estava o meio ambiente em questão. Algumas peculiaridades entre os levantamentos aferidos, percepções geoambientais e ecológicas foram observadas e acabaram por elucidar sutis características e condições gerais de campo.

No Campo realizado no dia 07/12/13 a área apresentou barras arenosas que vão se sobrepondo, caracterizando o ambiente em acreção. Houve neste campo o rastreamento das referências de nível do IBGE, acompanhado de registro fotográfico das principais feições de praia (Figura 32 A e B).

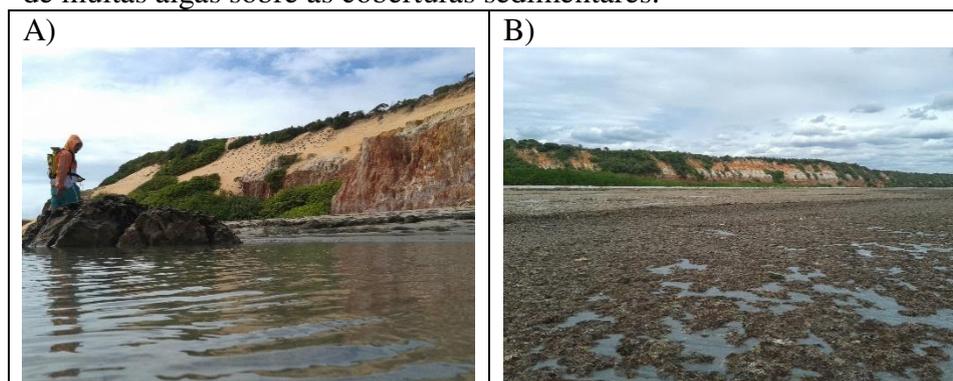
Figura 32 – Etapa de campo 1, realizada em 07/12/2013. A) Rastreamento de marcos do IBGE (RN: referências de nível); B) Aspecto geoambiental: superfícies alagadiças dispostas ao longo do trecho de praia.



Fonte: O autor.

No segundo Campo realizado nos dias 21 e 22/07/14, com relação ao levantamento anterior, notou-se visualmente que haviam indícios de acreção na porção final da barra sedimentar. Evidentemente, que somente após o rastreio efetivo as suposições foram elucidadas (Figura 33 A e B).

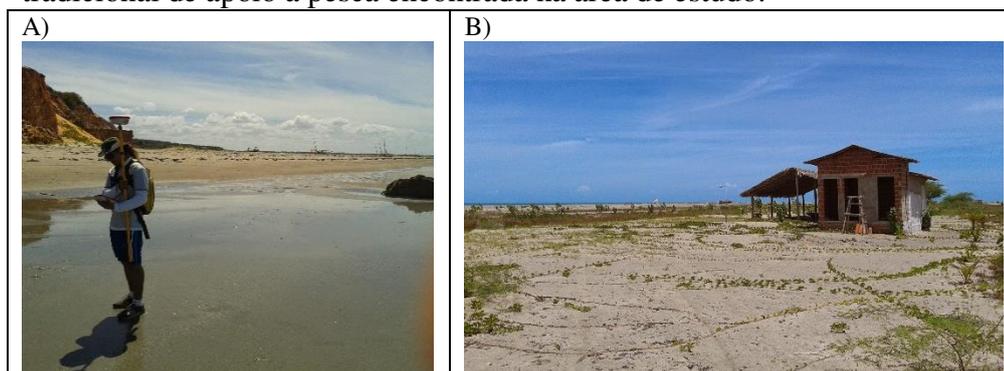
Figura 33 – A) campo 2: rastreio das feições de praia com GPS geodésico (*rover* – caminhamento em *zig-zag*); B) Aspecto geoambiental: presença de muitas algas sobre as coberturas sedimentares.



Fonte: O autor.

No terceiro Campo realizado no dia 28/11/14 percebeu-se que as condições de clima no dia do levantamento indicavam poucas nuvens, sem indícios de precipitação e humidade baixa, sensação térmica de clima seco. Notoriamente foi possível discernir dunas vegetadas e dunas frontais, além de distinguir a interface zona molhada/seca com declividade ligeiramente suave, indicando as diferentes coberturas arenosas a serem percorridas com o GPS geodésico (Figura 34 A e B).

Figura 34 – A) campo 3: levantamento sobre interface da zona molhada na faixa de praia; B) aspecto geoambiental: sobre duna vegetada ocupação tradicional de apoio à pesca encontrada na área de estudo.

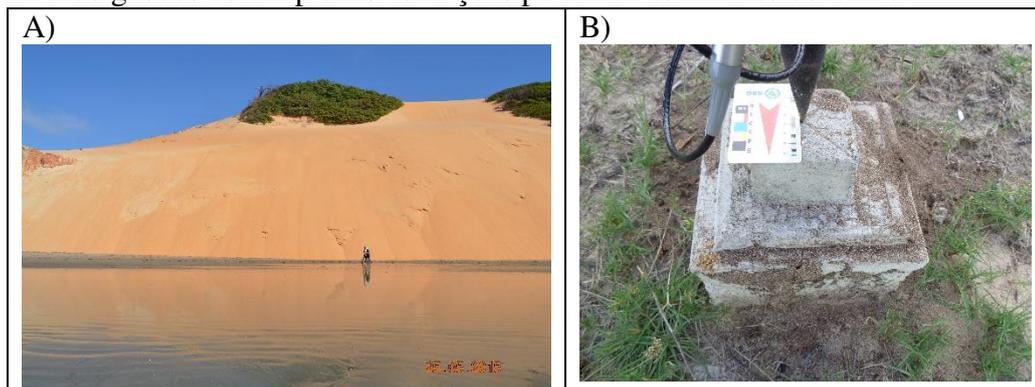


Fonte: O autor.

O quarto campo (25/05/15) ocorreu às 13h 10min concluindo-se as atividades por volta das 16h 30min. Logo, o início do caminhamento ocorreu efetivamente às 13h 55min com maré baixa por volta das 14h. As condições climáticas eram razoáveis, com baixa incidência de ventos; sem indícios de precipitação; muitas nuvens; temperatura elevada e sensação térmica de pouca humidade no ar. Particularmente neste campo percebeu-se a intensa ação eólica em direção a duna móvel sobre o promontório rochoso. Estes ventos contribuíam substancialmente com aporte de sedimentos para a praia no estirâncio, semelhantemente ao que ocorre no processo de migração em campos dunares transgressivos (Figura 35 A). Foi possível verificar a presença de alguns resíduos sólidos (lixo comum) ao longo do caminhamento efetuado.

Com a manutenção do marco geodésico (Figura 35 B), após três anos, optou-se por realizar o quinto campo alternativo (04/05/18), onde constatou-se que em 2018, a face de avalanche que antes protegia a falésia, era praticamente inexistente.

Figura 35 – A) campo 4: levantamento (coletora); B) aspecto metodológico: marco geodésico em plenas condições para monitoramento contínuo.

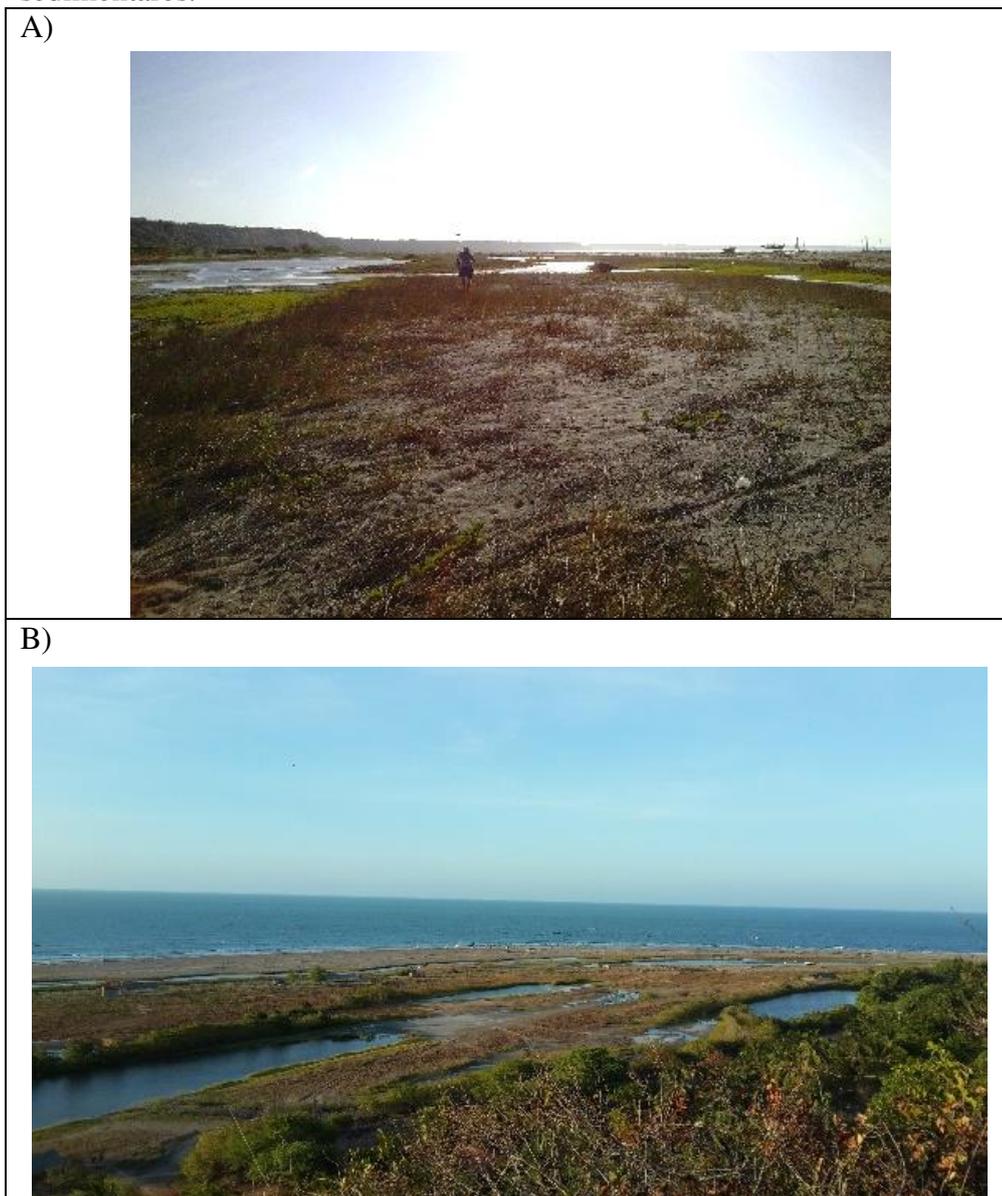


Fonte: O autor.

APÊNDICE D – ASPECTOS GERAIS E CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO NA PRAIA DE PONTA GROSSA

No Campo realizado no dia 07/12/13 foi possível notar uma boa área vegetada, regiões alagadiças, praia com um estirâncio considerável e pelas marcas da zona molhada (sedimentos húmidos) é possível inferir que a maré alcançou a base da falésia em alguns pontos. (Figura 36 A e B).

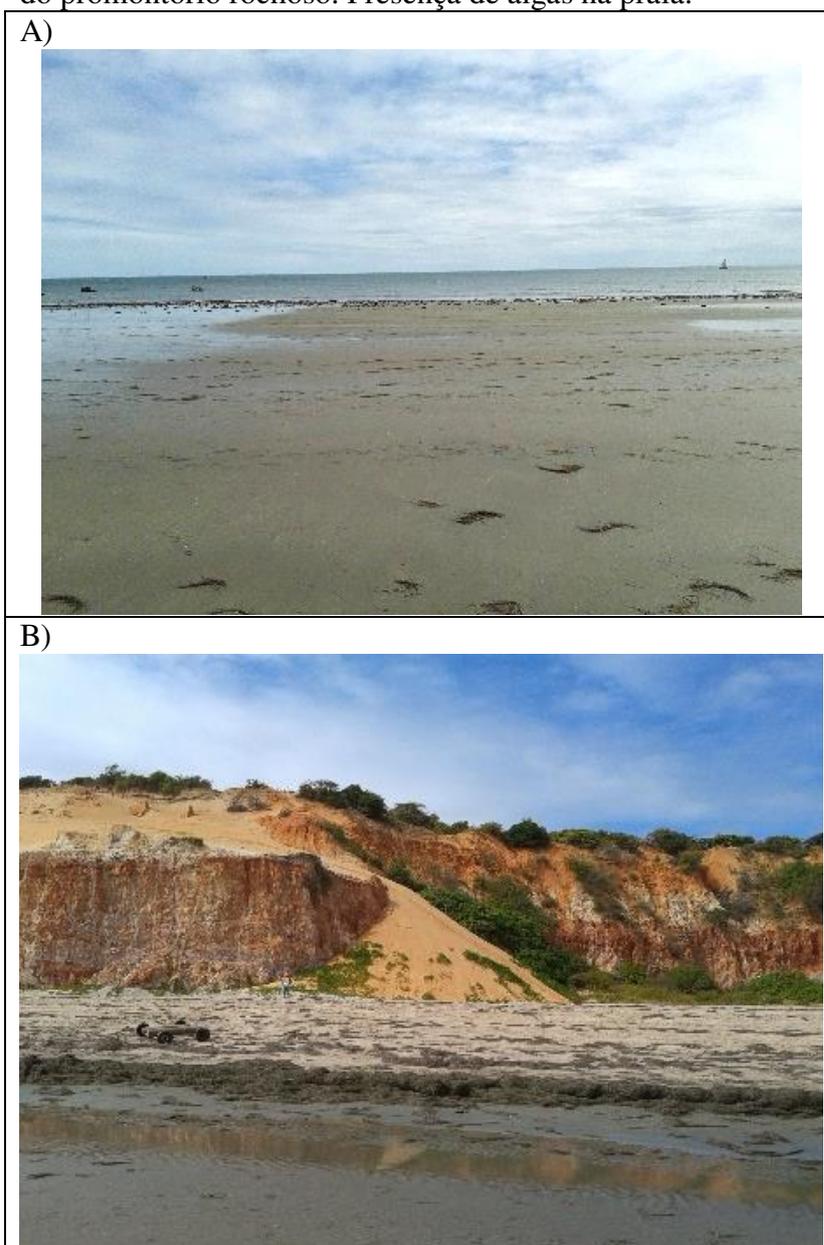
Figura 36 – Aspectos geoambientais da área observados em dezembro de 2013. A) Setor final da barra arenosa: sedimentos cobertos por vegetação pioneira de porte herbáceo. B) Zonas alagadiças adjacentes as feições sedimentares.



Fonte: O autor.

Entre os dias 21 e 22/07/14, no segundo campo na praia, preliminarmente constatou-se que a barra arenosa no estirâncio havia aumentado, chegando a encostar em uma árvore protuberante na faixa da praia, essa que anteriormente se encontrava longe do corpo arenoso. A oeste do marco geodésico implantado, na porção final do levantamento existia grande quantidade de algas que estavam sendo encobertas pela areia em alguns pontos (Figura 37 A e B).

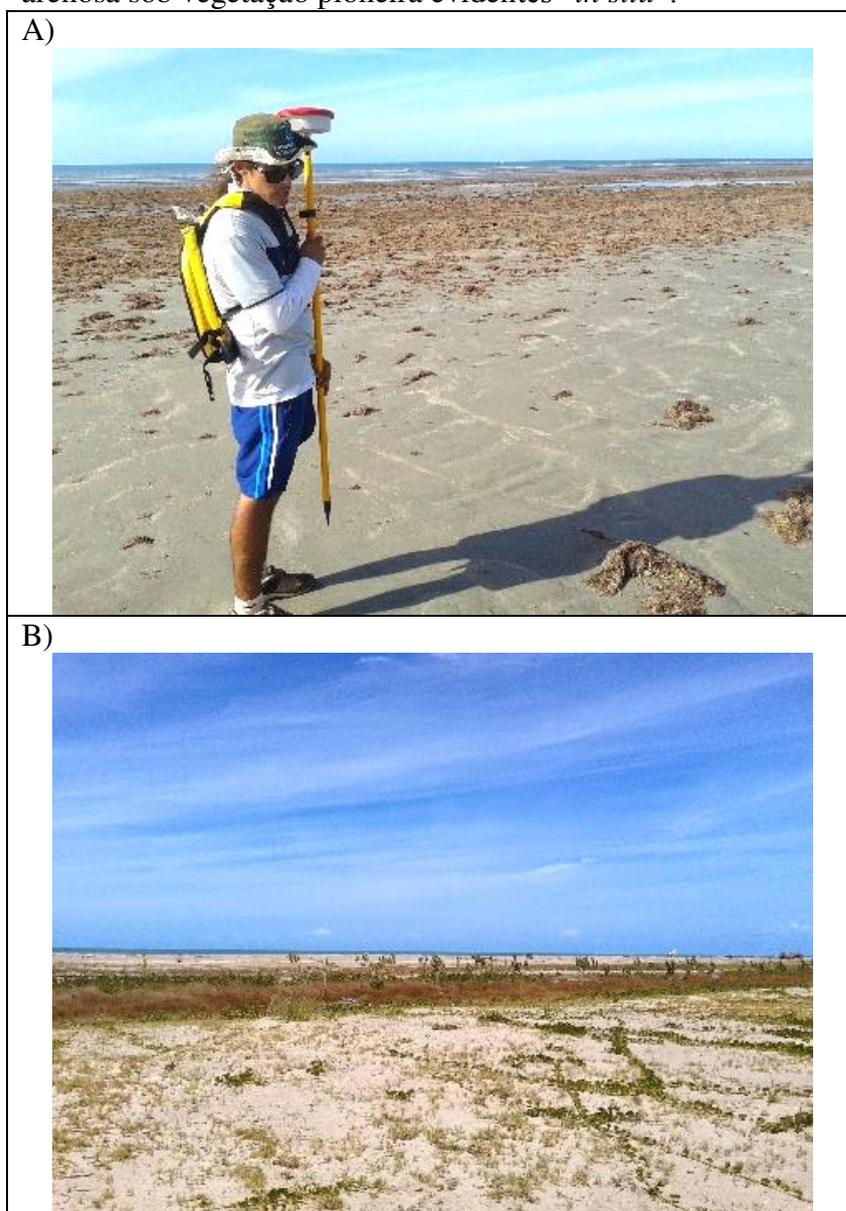
Figura 37 – Aspectos geoambientais da área observados em julho de 2014. A) Setor intermediário da barra arenosa: estirâncio largo, faixa de praia extensa e bem marcada. B) Escorregamento de sedimentos da duna móvel sobre falésias do promontório rochoso. Presença de algas na praia.



Fonte: O autor.

Durante a terceira etapa de campo, realizado no dia 28/11/14, a praia apresentou-se, em relação ao levantamento passado, com uma visível acresção, fazendo com que a feição arenosa no estirâncio novamente tenha aumentado, contudo longitudinalmente houve uma diminuição em termos de área alcançada pela barra de areia. Observou-se que a largura da faixa de praia na porção final do levantamento havia encurtado. Mais uma vez grande quantidade de algas, foram depositadas e algumas destas dependendo do ponto, estavam cobertas por areia (Figura 38 A e B).

Figura 38 – Aspectos geoambientais da área observados em novembro de 2014. A) Parte final do levantamento: no sentido mar a dentro, a barra arenosa cresceu, contudo longitudinalmente (NE-SE) parecia ter encurtado. B) Cobertura arenosa sob vegetação pioneira evidentes “*in situ*”.



Fonte: O autor.

Na quarta atividade de campo (25/05/15), a praia parecia exibir sutil acreção, não sendo possível, antes do processamento, verificar se a cobertura sedimentar das barras, ilhas ou flechas arenosas estenderam-se longitudinalmente implicando em um provável aumento da área ou volume. Mesmo assim, observou-se que a largura da faixa de praia na porção final do levantamento parecia ter crescido. Como nos campos anteriores, grande quantidade de algas foram depositadas na praia (Figura 39 A e B).

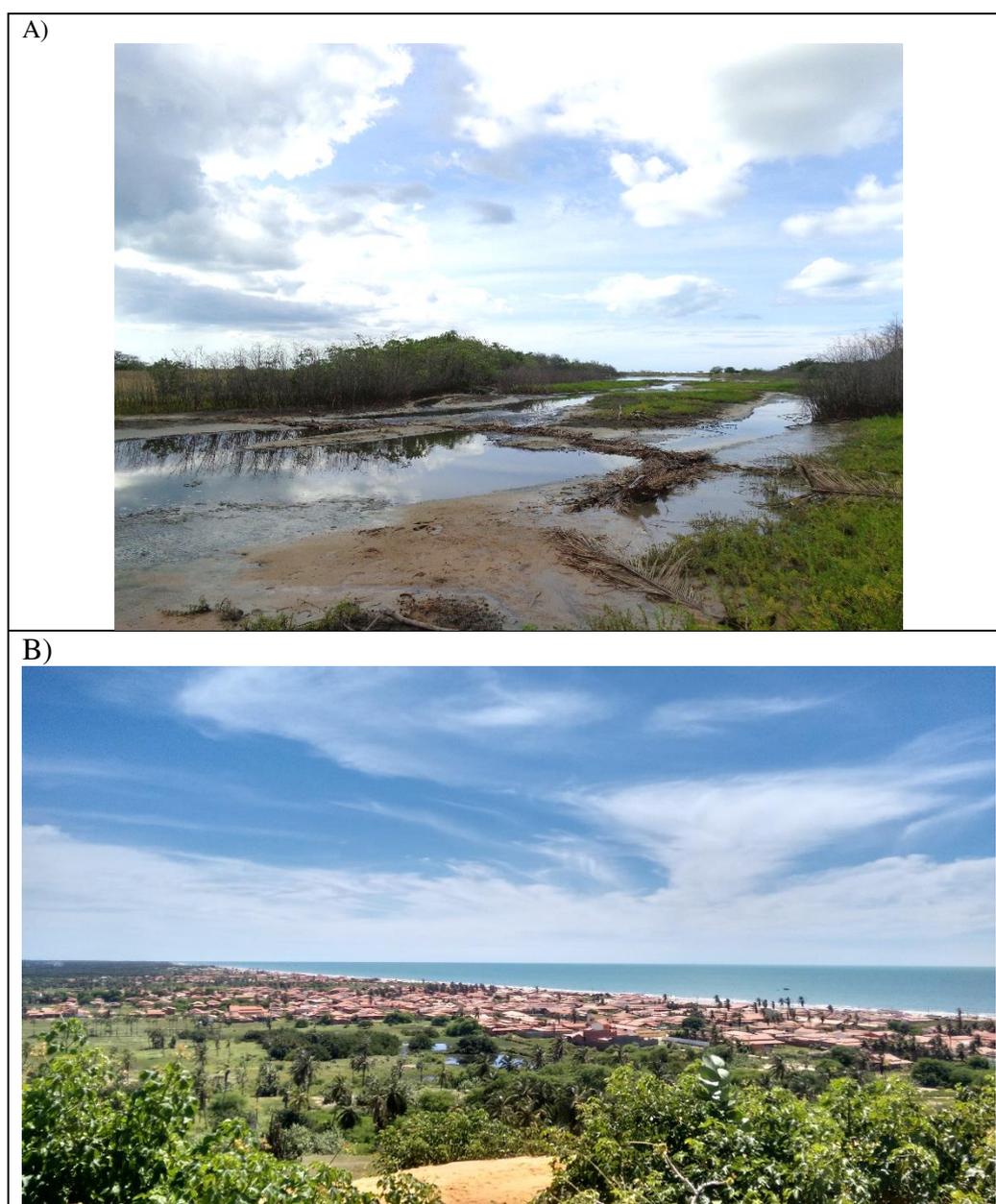
Figura 39 – Aspectos geoambientais da área observados em maio de 2015. A) Término do levantamento, havendo indícios de deposição sedimentar na parte final da barra arenosa (NE-SE). “A olho nu”, neste setor pode ter havido crescimento em área. B) Forte presença de algas distribuídas ao longo de toda LC monitorada.



Fonte: O autor.

Como observado nas Figuras 40 A e 40 B, na quinta e última visita de campo (04/05/18), percebeu-se que entre 2015 e 2018 a variação sazonal mais comum era sem dúvida a sobreposição dos padrões de deposição em “combate” a erosão sedimentar. É possível sugerir conclusivamente que a dinâmica da praia de Ponta Grossa indica que pode ter havido períodos de deposição intensa moderada e fraca. Ocasionalmente, nesta última categoria, o surgimento de zonas alagadiças em função de mudança climáticas implica na retenção de sedimentos que pode favorecer erosão costeira, isto posto, seria uma exceção a condição encontrada em campo.

Figura 40 – Aspectos geoambientais da área observados em maio de 2018. A) Regiões interlagunares localizadas na região do pós-praia anteposta a barra arenosa “*in situ*” B) Visão panorâmica da mancha urbana no litoral de Icapuí.



Fonte: O autor.

APÊNDICE E – MENSAGEM

*“Elevo os meus olhos para os montes, de onde vem o meu socorro?
O meu socorro vem do Senhor que fez o céu e a terra.”
(Salmos 121:1,2)*