



## Emprego de Imagens Landsat na Análise Temporal da Linha de Costa da Porção Oeste do Estado do Ceará

Cassiano Dias de SOUZA<sup>1</sup>, Rayssa Magdyelli Nogueira da SILVA<sup>1</sup>, Linara Ivina de Castro RODRIGUES<sup>1</sup>, Emanuel Andrade Albuquerque MORORÓ<sup>1</sup>, Cynthia Romariz DUARTE<sup>2</sup>, Michael Vandesteeen Silva SOUTO<sup>2</sup>, José Antonio Beltrão SABADIA<sup>2</sup>

**Resumo:** As zonas costeiras do estado do Ceará estão sob constante modificação, tanto por ação da dinâmica costeira, quanto por ações antrópicas. Este trabalho teve como objetivo a análise da evolução da linha de costa entre os anos de 1984 e 2013, empregando técnicas de processamento digital em imagens dos satélites Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI). A área de estudo situa-se entre a Praia do Preá e o Rio Aracati-Mirim (município de Itarema), localizadas no litoral oeste estado do Ceará. O contexto geológico é dado predominantemente por duas unidades: a Formação Barreiras (Mioceno/Plioceno), e os Depósitos Quaternários (Holoceno). Após o devido georreferenciamento das imagens, utilizou-se o ArcGis 10.2.2 para o processamento e vetorização. As composições coloridas empregadas no estudo foram a R7G5B4 para o sensor OLI (Landsat 8), e a R7G4B3 para o sensor TM (Landsat 5), que são composições equivalentes do ponto de vista espectral, e que auxiliam na identificação das áreas emersas, áreas úmidas emersas, corpos d'água e vegetação. A região estudada apresentou uma dinâmica costeira bastante ativa, com intensa migração de barras arenosas e diversas áreas de erosão/deposição.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Imagens Landsat, Linha de Costa, Análise Temporal.

**Abstract:** *The coastal areas of Ceará are on constant modification, both due to the action of coastal dynamics and anthropogenic actions. The objective of this work was the analysis on the evolution of the coastline between the years 1984 and 2013 using digital image processing techniques in images of satellites Landsat 5 (TM) and Landsat 8 (OLI). The study area is located between the Praia do Preá and the Rio Aracati-Mirim (municipality of Itarema), located on the west coast of Ceará, two units are predominate in the region: the Formação Barreiras (Miocene/Pliocene), and Quaternary deposits (Holocene). After the georeferencing of the images, was used the software ArcGIS 10.2.2 for the processing and vectoring. The RGB color compositions chosen were the 7-5-4 for the OLI sensor (Landsat 8), and 7-4-3 for the TM sensor (Landsat 5), both compositions*

<sup>1</sup> Graduação em Geologia - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará

<sup>2</sup> Departamento de Geologia - Universidade Federal do Ceará

Autor para correspondência: Cassiano Dias de Souza

GEOCE - Laboratório de Geoprocessamento - Departamento de Geologia - Universidade Federal do Ceará.  
Avenida Mister Hull, s/n. Campus Universitário do Pici - Bloco 912, Fortaleza, CE. CEP 60.455-760, Brasil.  
E-mail: [casinho.geo@hotmail.com](mailto:casinho.geo@hotmail.com)

Recebido durante o XXVI SGNE 2015 / Aceito em 10 de Agosto de 2016.

help identify the emerged areas, emerged and flooded areas, bodies of water and vegetation. The region under study had a dynamic coastal active, with intense migration of sand bar and several areas of erosion/deposition.

**Keywords:** Remote sensing, Landsat Images, Shoreline, Temporal Analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

A zona costeira, ou faixa litorânea, corresponde à zona de transição entre o domínio continental e o domínio marinho, e está sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas originadas de processos continentais, marinhos e/ou antrópicos. Esses processos, determinantes na formação de distintos tipos de costas, englobam oscilações do nível do mar e dinâmica erosiva e deposicional associada à ação das ondas, marés, correntes e dinâmica eólica. Sendo assim, constitui-se de um ambiente altamente instável apresentando grande variabilidade temporal e espacial (BAPTISTA NETO *et al.*, 2004).

De acordo com Ab'Sáber (2001, *apud* Souza, 2016), o Brasil possui o mais extenso litoral inter e subtropical do mundo, com cerca de 8 mil quilômetros de extensão, onde se encontram os maiores núcleos urbanos do país. Estudos apontam que quase 25% da população brasileira residem em municípios da zona costeira, sendo que, no Nordeste, a concentração populacional é de 37,8%, chegando a 50,8% no estado do Ceará. (IBGE, 2015).

O estado do Ceará possui uma grande extensão litorânea (573 km) e diferentes ecossistemas costeiros, sendo muito sensível aos efeitos decorrentes de intervenções antrópicas e dos processos costeiros dinâmicos naturais destas áreas (FARIAS, 2008).

Devido ao alto interesse econômico e paisagístico destas áreas, torna-se importante o estudo e monitoramento costeiro, e a existência de séries temporais de imagens de satélite

constitui-se numa importante fonte de dados para a análise temporal de impactos causados pela ocupação e da evolução costeira natural.

Portanto, o objetivo deste trabalho consistiu no estudo da dinâmica sedimentar da região do Acaraú, localizada na porção oeste do Estado do Ceará, caracterizada como um complexo sistema ambiental da costa cearense. Estudos com a metodologia semelhante, podem ser encontrados nos trabalhos de Moraes *et al.* (2012), Amaro *et al.* (2012) e Mororó *et al.* (2014).

## 2. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo se encontra na porção oeste do litoral cearense, limitado pelas coordenadas UTM 353000 e 403000 E, e 9692000 e 9679000 S, datum WGS84 24S (Figura 1). Englobando a costa do município de Acaraú e a parte oeste do município de Itarema perfazendo 50 Km de linha de costa.

### 2.1 Condições Meteorológicas e Oceanográficas

#### 2.1.1 Ventos

Considerando os dados do Aeroporto Pinto Martins, e da estação anemográfica localizada no Porto do Pecém, no município de São Gonçalo do Amarante – CE, a velocidade média mensal dos ventos para os períodos de 1993-2002 variou de 3 a 9,5 m/s, sendo que os maiores valores foram registrados entre agosto e novembro, e os menores entre fevereiro e março. No estado do Ceará, nos meses de março e abril, que

são os períodos mais chuvosos, predominam ventos de SE ( $120^{\circ}$ - $150^{\circ}$ ) ao longo do dia, variando para SSE-S ( $150^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) durante a noite. Entre maio e agosto, os ventos passam para ENE-E ( $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) durante o dia, e E-SE ( $90^{\circ}$ - $150^{\circ}$ ) à noite. Entre setembro e dezembro, a direção predominante varia de E a SE (MORAIS *et al.*, 2006).

### 2.1.2 Correntes

As correntes costeiras são responsáveis pelo transporte de sedimentos que incidem sobre a costa, sendo a direção de incidência dessas correntes, em relação à costa, um fator importante na deposição ou transporte, determinando a trajetória dos sedimentos (SILVA, 2005). Durante a realização da operação GEOMAR (Geologia e Geofísica da Marinha) XVIII, foram realizadas quatro estações de correntometria, sendo uma delas localizada na plataforma interna próxima

a foz do rio Coreaú, apresentando uma corrente geral com velocidade na ordem de 0,24 m/s e direção  $238^{\circ}$ N na superfície e 0,21 m/s com direção de  $87^{\circ}$ N no fundo (FREIRE, 1985).

## 2.2 GEOLOGIA REGIONAL

A geologia da área é composta principalmente por três unidades, a saber: Formação Barreiras e os Depósitos Quaternários, subdivididos em depósitos aluviais e depósitos eólicos litorâneos (Figura 2).

A Formação Barreiras constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha, de idade miocênica a pleistocênica inferior (SUGUIO e NOGUEIRA, 1999), estando presente ao longo do litoral brasileiro, se estendendo desde a região amazônica, por toda a região costeira norte e nordeste, até o estado do Rio de Janeiro.

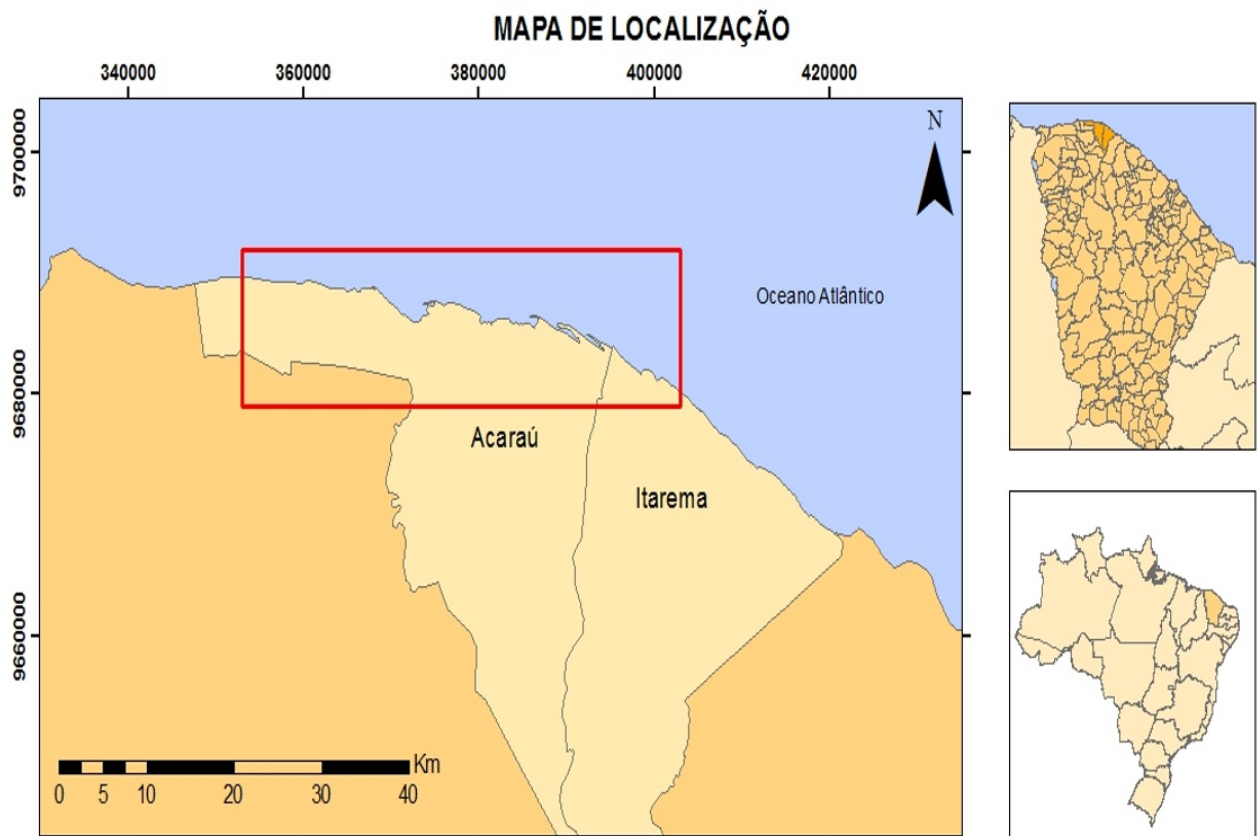


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

É composta por uma sequência de sedimentos detríticossiliciclásticos, pouco consolidados e mal selecionados, apresentando uma coloração variada, geralmente variando de vermelha a creme amarelada, e granulação de areia fina a grossa, predominando grãos angulosos (LIMA, 2002; ARAÚJO, 2011a).

Os depósitos aluviais são constituídos por sedimentos clásticos (arenosos argilosos), de idade quaternária, podendo ser ricos em matéria orgânica, sendo depositados por um sistema fluvial no leito e nas margens das drenagens, incluindo as planícies de inundação. Constitui um sistema bastante retrabalhado e mutável em decorrência dos processos de transporte e erosão fluvial. De acordo com Pinheiro (2006) a evolução desses sistemas, em larga

escala, está diretamente associada às alterações do nível médio dos mares (ARAÚJO, 2011a; ARAÚJO, 2011b).

Os depósitos eólicos litorâneos são constituídos, essencialmente, por sedimentos quaternários arenosos e bem selecionados, com grãos arredondados originados principalmente de dunas e areias de praias. São caracterizadas em geral por superfícies baixas e levemente onduladas, ocorrendo em áreas mais próximas à linha de costa atual, contendo teores variados de matéria orgânica. A planície litorânea se caracteriza pela presença de dunas fixas e moveis, sendo estes ambientes muito vulneráveis à ação antrópica. Suas formações decorrem do aporte de areias provenientes do transporte eólico (ARAÚJO, 2011a; ARAÚJO, 2011b).

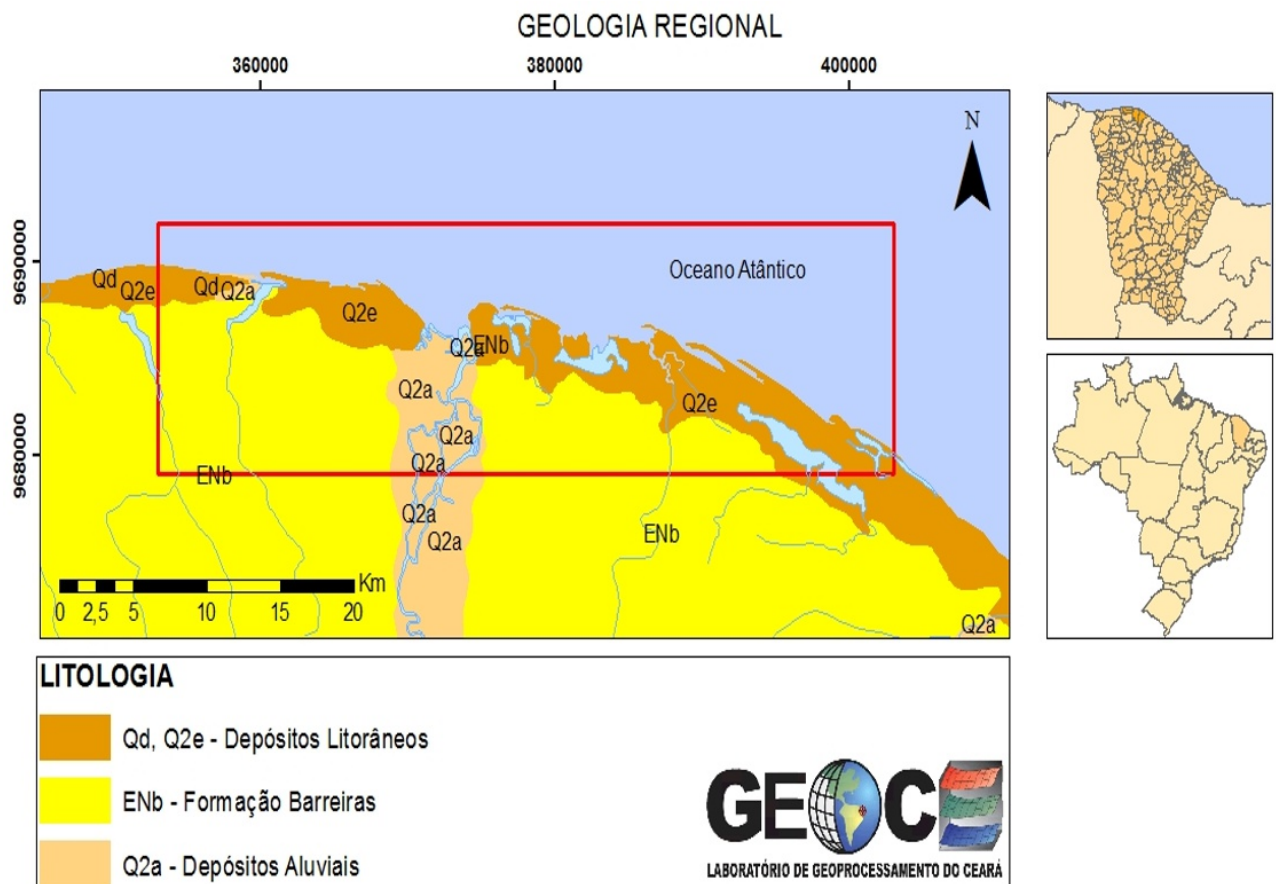


Figura 2 – Mapa geológico regional. Fonte: CPRM (2003).

## 2.3 HIDROGRAFIA REGIONAL

A região abrange três das doze bacias hidrográficas do estado do Ceará, sendo elas a Bacia do Rio Coreaú, Bacia do Rio Acaraú e a Bacia do Litoral (Figura 3), que juntas correspondem a cerca de 23% do território cearense. A Bacia do Rio Acaraú ocupa uma área da ordem de 14.423,00 km<sup>2</sup>, e uma extensão litorânea de 13 km, possuindo o rio Acaraú como principal rio. A Bacia do Rio Coreaú ocupa uma área da ordem de 10.633,66 km<sup>2</sup>, possuindo uma extensão litorânea

130 km, sendo composta pela área drenada pelo rio Coreaú, principal rio da bacia, e diversas microbacias que desaguam diretamente no Oceano Atlântico, tais como as formadas pelos rios Timonha, Tapuio, Jaguarapi, Pesqueiro e da Prata. A Bacia do Litoral ocupa uma área da ordem de 8.472,77 km<sup>2</sup>, tendo como rio principal o rio Aracatiaçu, e outros cursos d'água de menores dimensões como os rios Aracati-mirim, Cruxati, Mundaú e Trairi (INESP, 2009a; INESP, 2009b; INESP, 2009c).



Figura 3 – Hidrografia Regional. Editado (INESP, 2009a; INESP, 2009b; INESP, 2009c).

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento desse estudo foi baseado nas técnicas propostas por Amaro *et al.* (2012). A primeira etapa de pré-processamento consistiu na aquisição das cenas dos satélites Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI) entre os anos de 1984 a 2013, órbita/ponto 218/062, que foram

adquiridas no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do United States Geological Survey (USGS). A Tabela 1 apresenta as datas das imagens empregadas no trabalho.

Tabela 1: Dados das cenas empregadas.

Data	Sensor	Resolução espacial (m)
08/07/1984	TM	30 m
04/07/1994	TM	30 m
27/06/2003	TM	30 m
23/07/2013	OLI	30 m

Para melhor obtenção de resultados, foi obtido imagens do mês de julho, ou próximo a ele, para serem analisadas em condições climáticas similares. Sendo este um mês de seca para o nordeste, ocorre um menor aporte sedimentar proveniente dos rios, podendo ser caracterizado como um período de recuo da linha de costa (MORORÓ *et al.*, 2014).

Na segunda etapa do pré-processamento, as imagens passaram pelo processo de fusão das bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, 7 do Landsat 5, descartando a banda termal, e na fusão das bandas do Landsat 8 foram descartadas as bandas pancromática, cirrus e as termal (8, 9, 10 e 11) utilizando as bandas espectrais 1 a 7. O georreferenciamento das imagens foi realizado no programa ENVI 4.8, utilizando como base a imagem do Landsat 8, de 23/07/2013.

As bandas 4 e 7 (sensor TM) correspondem a faixa espectral do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas, respectivamente. Os corpos d'água absorvem muita energia nessas bandas, sendo apresentadas em tonalidades escuras, ao contrário da vegetação, que reflete bastante energia, sendo representada em tons claros. A banda 3 corresponde a faixa espectral do vermelho, auxilia no contraste entre a cobertura vegetal e o solo exposto (ou areia de praia). No sensor OLI as bandas 5 e 7 as correspondentes das faixas espectrais do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas respectivamente, e a banda 4 corresponde a faixa espectral do vermelho. Apesar da diferença entre os intervalos espectrais, ambas as composições obtêm funcionalidades semelhantes (Tabela 2).

Tabela 2: Relação das bandas empregadas e seus respectivos comprimentos de onda.

Sensor TM		Sensor OLI	
banda 3	0,63-0,69 $\mu$ m	banda 4	0.64–0.67 $\mu$ m
banda 4	0,76-0,90 $\mu$ m	banda 5	0.85–0.88 $\mu$ m
banda 7	2,08-2,35 $\mu$ m	banda 7	2.11-2.29 $\mu$ m

### 3.2 GERAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE DADOS

Os polígonos que delimitam a linha de costa foram obtidos em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), onde ocorreu a vetorização da linha de

costa para cada uma das imagens previamente citadas (Tabela 1). A integração dos dados e confecção dos mapas foi realizada através da

intersecção geométrica dos polígonos de datas distintas, sendo possível observar a evolução da linha de costa em três diferentes períodos – 1984/1994; 1994/2003; 2003/2013. Com a intersecção, foram criados novos polígonos que correspondem as variações temporais daquele período, sendo classificadas em áreas de erosão, acresção ou de estabilidade em relação a linha de costa inicial.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função da extensão da área estudada, para melhor apresentação dos resultados, a área total foi dividida em duas sessões, denominadas A e B (Figura 4). Que posteriormente foram novamente integradas em ambiente SIG para o cálculo das variações temporais de

erosão e acresção. Para a realização destes processos, foi utilizado o ArcGis 10.2.2.

Utilizando a metodologia citada anteriormente, foi realizado a análise da evolução da linha de costa nos períodos de 1984/1994; 1994/2003; 2003/2013 e 1984/2013, abrangendo um período total de 29 anos da morfogênese costeira local.

A Figura 5 apresenta os resultados de acresção e erosão para o intervalo de tempo de 1984 a 1994. A região estudada apresentou uma dinâmica costeira bastante ativa, com áreas intercaladas de erosão e acresção durante toda a costa. Ambas as regiões apresentaram predominância de áreas de acresção, com a criação de bancos e pontais arenosos, sendo que a área B possui os maiores valores positivos.

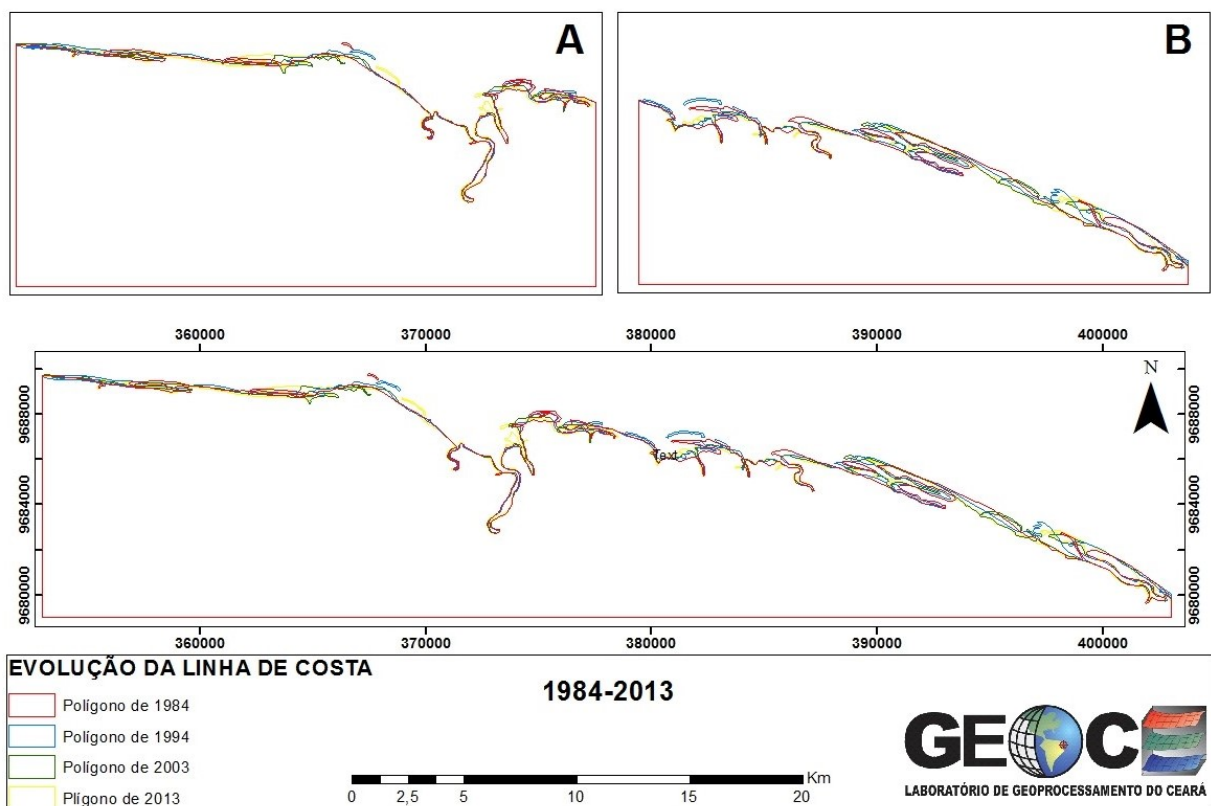


Figura 4 – Compartimentação da área em sessões para melhor visualização dos resultados.

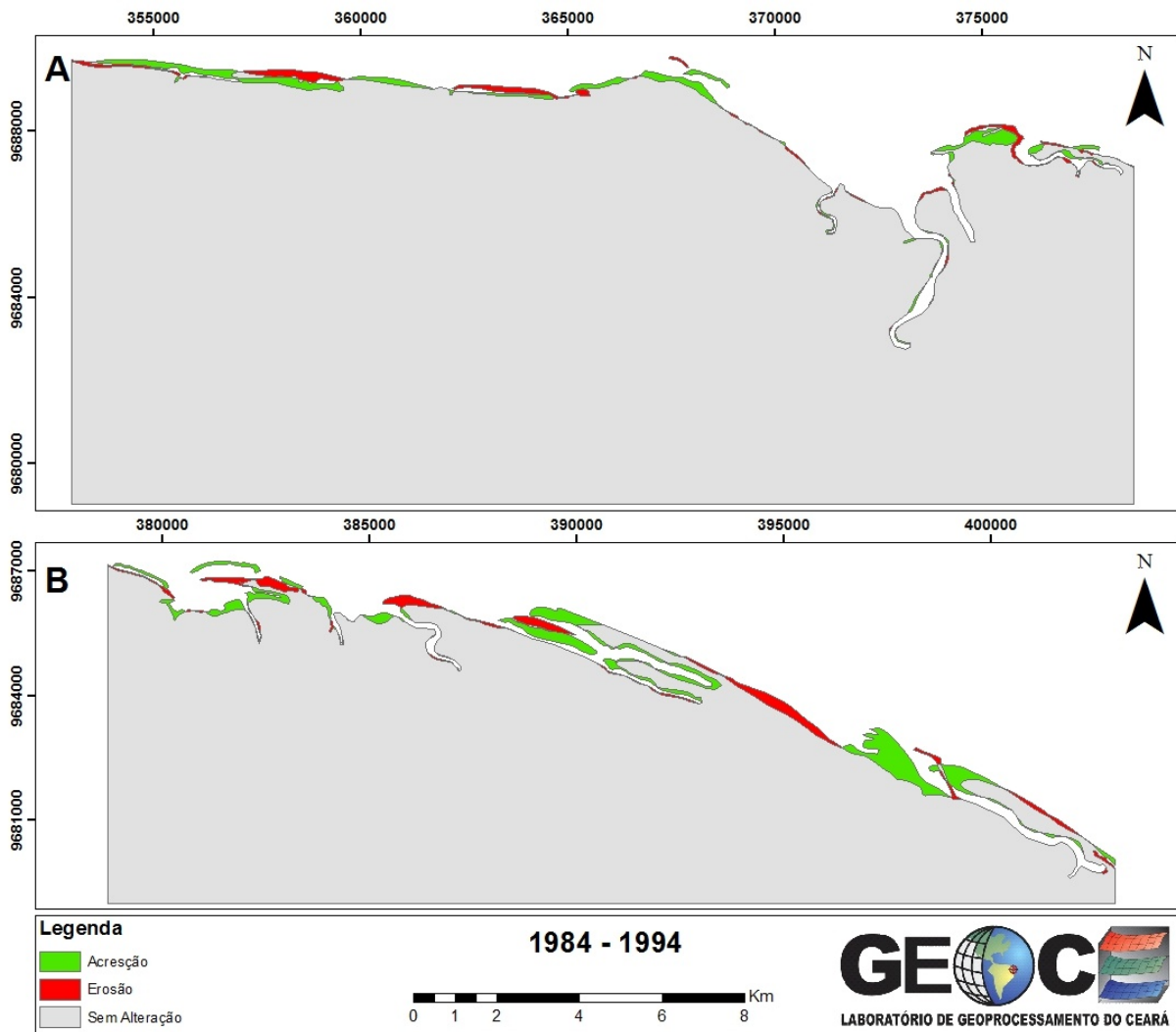


Figura 5 – Resultados da modificação da linha de costa no período 1984 a 1994.

A área A apresentou menores valores de erosão e acreção, fator que se repetiu durante quase todo o período estudado, com um balanço total de 1,059 Km<sup>2</sup> de acreção. A área B se mostrou

mais ativa no período, com altos teores valores de acreção e erosão, predominando 2,081 Km<sup>2</sup> de acreção (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores de área erodida e área acrescida para o período de 1984 a 1994.

	A	B
Acréscão (km <sup>2</sup> )	2,400213	3,962906
Erosão (km <sup>2</sup> )	1,34114	1,881486

A Figura 6 apresenta os resultados para o período de 1994 a 2003. Este período apresentou uma taxa de transporte de sedimentos relativamente menor que o período de 1984/1994, sendo possível notar uma diminuição significativa das áreas de acreção, e um

grande aumento nas áreas de erosão ao longo de toda a costa. Essas modificações são particularmente chamativas na área B, onde é possível notar uma completa alteração, passando de área de maior taxa de acreção, para a de maior taxa de erosão.



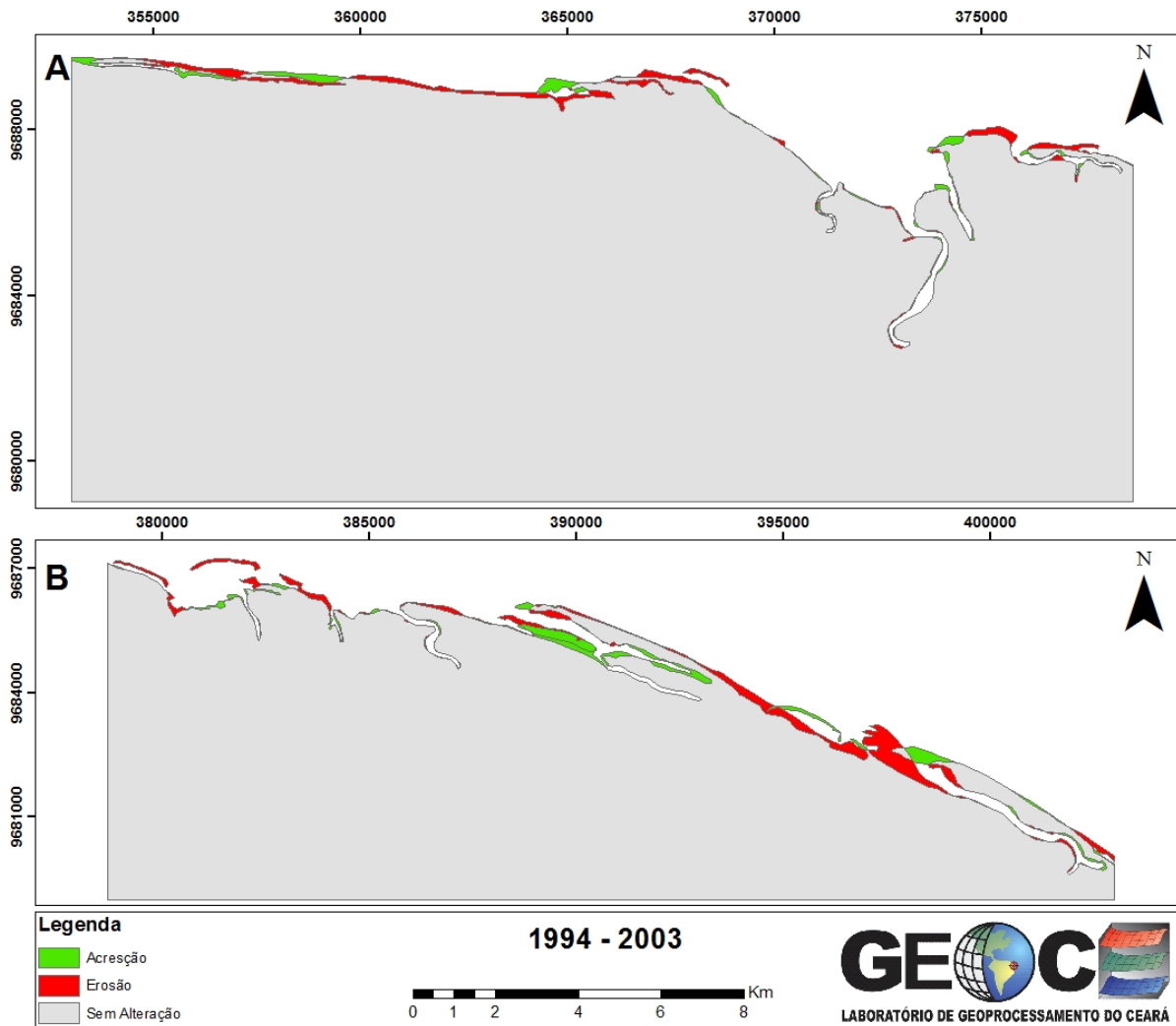


Figura 6 - Resultados da modificação da linha de costa no período 1994 a 2003.

As áreas A e B apresentaram valores próximos de erosão, com 1,049 km<sup>2</sup> e 1,361 km<sup>2</sup> respectivamente, sendo caracterizadas pela remoção de diversos bancos e pontais arenosos (Tabela 4).

A Figura 7 apresenta os resultados da modificação da linha de costa para o período compreendido entre 2003 e 2013, que apresentou a menor taxa de transporte de sedimentos entre os três períodos estudados, sendo possível notar uma significativa diminuição no volume de áreas erodidas na área B, e uma leve diminuição na área A.

Devido a um aumento de áreas de deposição, acompanhadas por uma leve diminuição das áreas de erosão, a área A voltou a ser caracterizada como predominantemente de deposição, acumulando uma leve taxa de 0,05905 km<sup>2</sup> ao longo dos dez anos. Houve uma significativa diminuição das taxas de erosão da área B, porem acompanhadas por uma diminuição nas taxas de sedimentação, resultando em um acúmulo de 0,850665 km<sup>2</sup> de erosão (Tabela 5).

Tabela 4 – Valores de área erodida e área acrescida para o período de 1994 a 2003.

	A	B
Acresção (km <sup>2</sup> )	1,150312	1,641909
Erosão (km <sup>2</sup> )	2,199045	3,00327

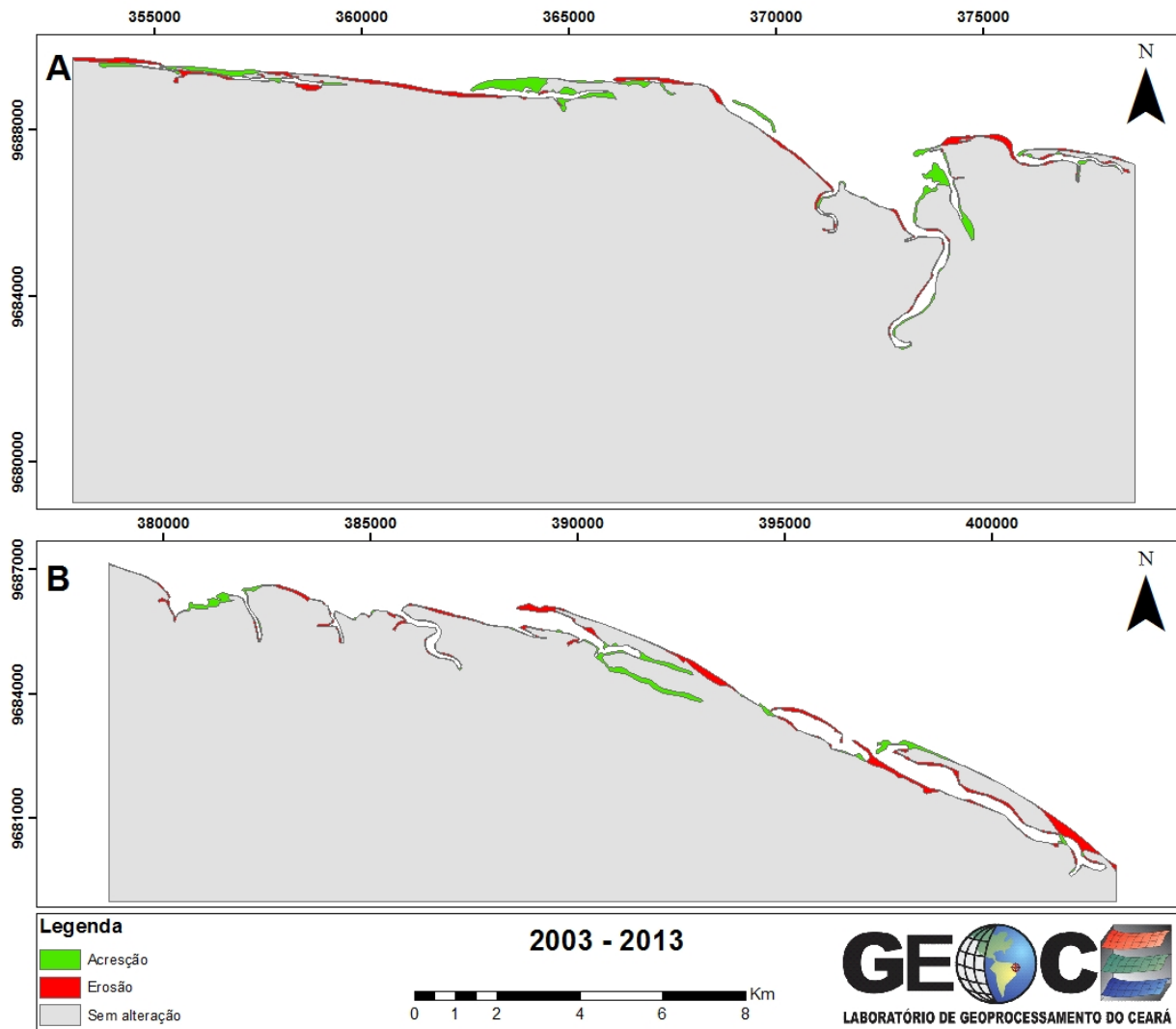


Figura 7 – Resultados da modificação da linha de costa no período 2003 a 2013.

Tabela 5 - Valores de área erodida e área acrescida para o período de 2003 a 2013.

	A	B
Acresção (km <sup>2</sup> )	1,840032	1,054073
Erosão (km <sup>2</sup> )	1,780982	1,904738

Analisando os vinte e nove anos de evolução costeira, conclui-se que a região estudada possui uma morfodinâmica bastante ativa, tendo cada

região respondido de um modo diferente aos processos costeiros naturais (Figuras 8 e 9)

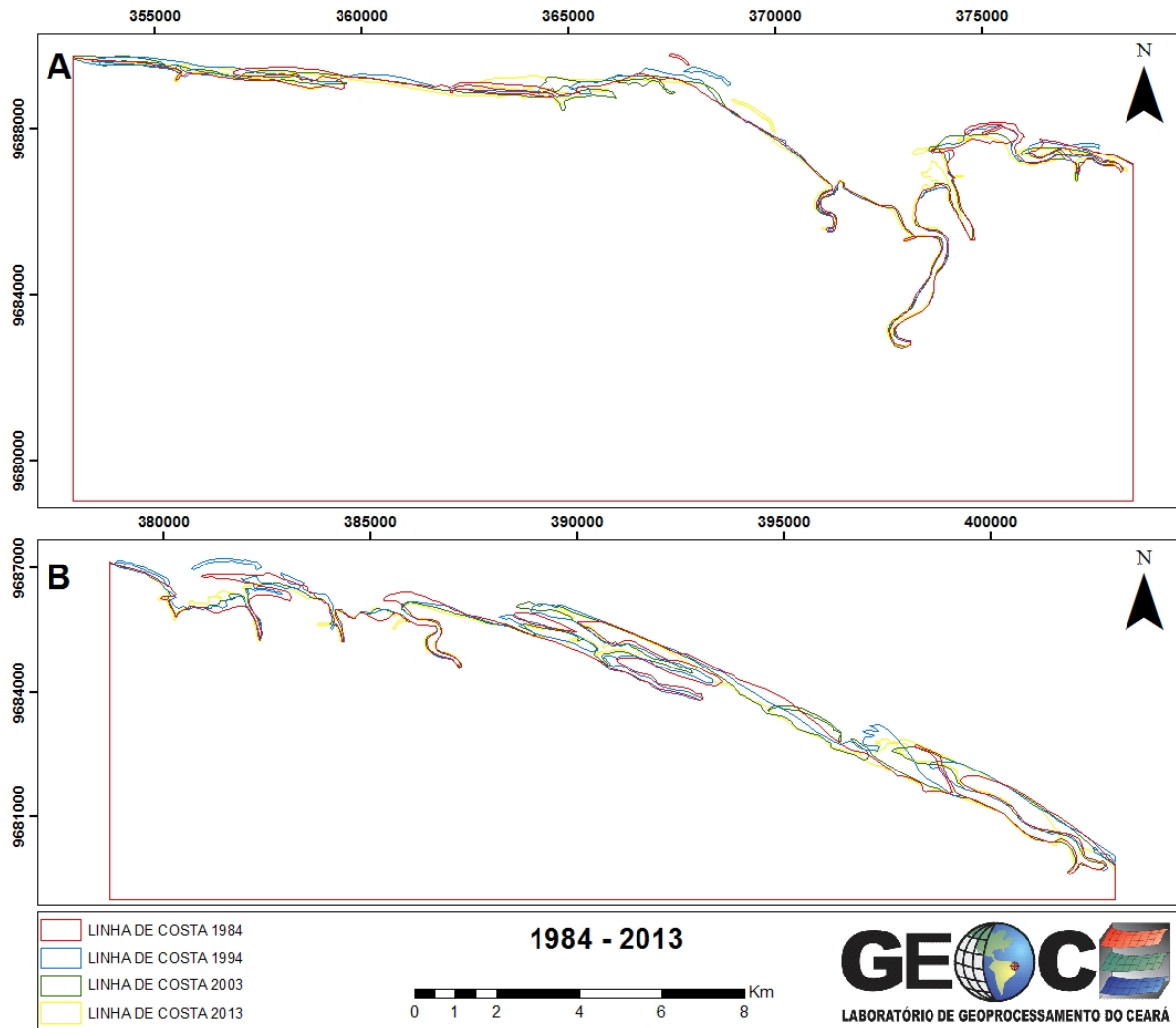


Figura 8 – Linhas de costa dos anos de 1984, 1994, 2003 e 2013.

A região A apresentou um total de 5,39 Km<sup>2</sup> de acreção e 5,32 Km<sup>2</sup> de erosão, totalizando um avanço de 0,06939 Km<sup>2</sup> da linha de costa, distribuídos em 25.650 Km de litoral, sendo que houve predominantemente acreção no período de 1984-1994 e erosão no período de 1994-2003, havendo uma relativa estabilidade no período de 2003-2013, com uma leve predominância de áreas de acreção.

A região B se caracterizou como a região mais ativa, com os maiores índices de erosão e deposição, resultado da constante criação e destruição de barras e pontais arenosos, com um total de 6,658888 Km<sup>2</sup> de acreção e 6,79 Km<sup>2</sup> de erosão, totalizando um recuo de

0,131 Km<sup>2</sup> da linha de costa, distribuídos em 24.350 Km de litoral, havendo predominado acreção no período de 1984-1994, e erosão nos períodos de 1994-2003 e 2003-2013.

Considerando toda a área de estudo, foi possível observar uma diminuição progressiva na quantidade de sedimentos mobilizados, onde após o período de 1984-1994, onde as áreas totalizaram 3,14 Km<sup>2</sup> de deposição, passou a predominar processos erosivos, com 2,41 Km<sup>2</sup> e 0,79 Km<sup>2</sup> de erosão para os períodos de 1994-2003 e 2003-2013 respectivamente (Tabela 6). Tem-se então, que para o período total analisado, houve um balanço sedimentar negativo, com 0,061 Km<sup>2</sup> de erosão.

Tabela 6 – Valores de área erodida e área acrescida para o período de 1984 a 2013.

	1984-1994	1994-2003	2003-2013
Acresção total	6,363119 km <sup>2</sup>	2,792221 km <sup>2</sup>	2,894105 km <sup>2</sup>
Erosão total	3,222626 km <sup>2</sup>	5,202315 km <sup>2</sup>	3,68572 km <sup>2</sup>
Balanço total	3,140493 km <sup>2</sup>	-2,410094 km <sup>2</sup>	-0,791615 km <sup>2</sup>

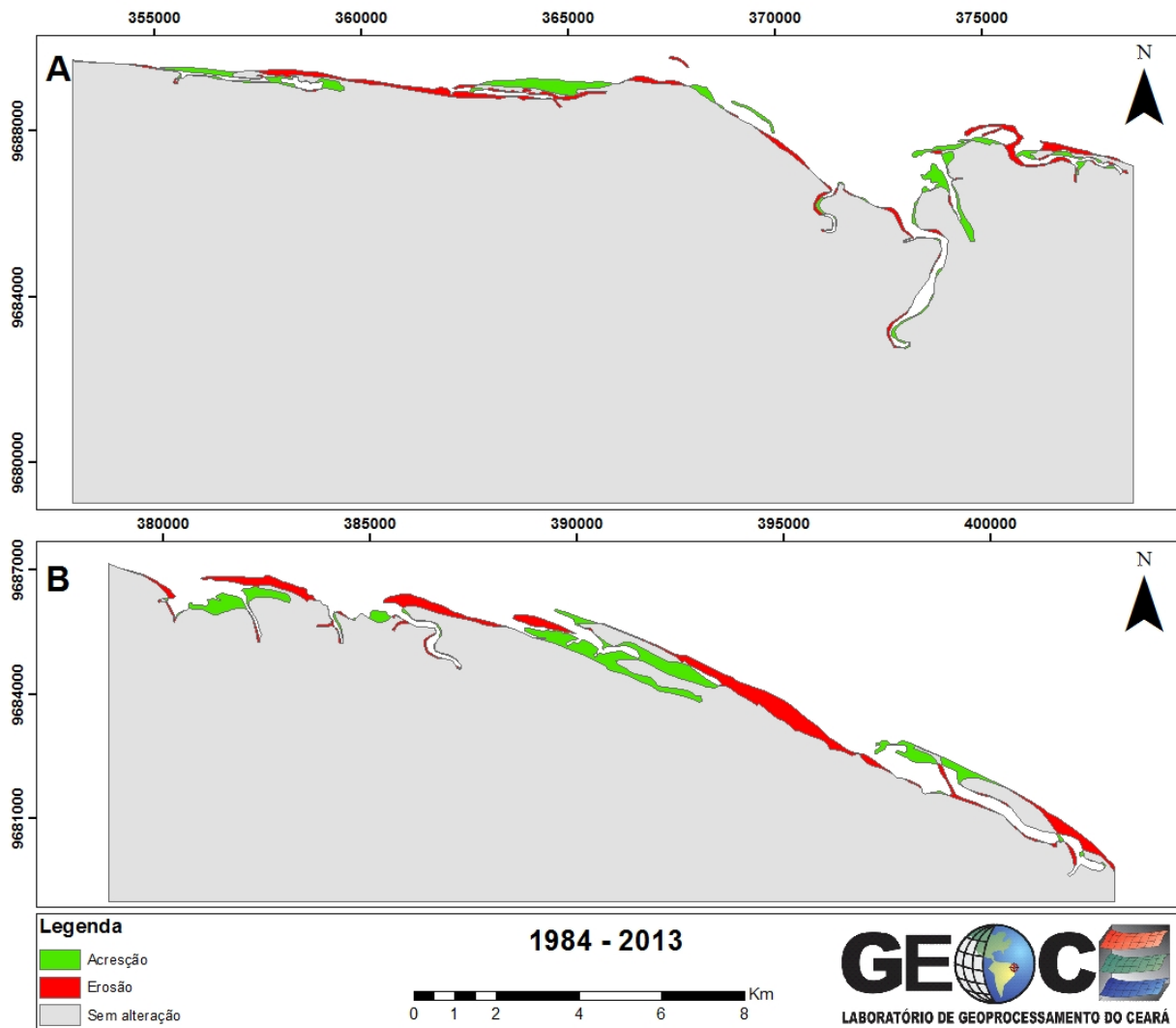


Figura 9 – Resultados da modificação da linha de costa no período 1984 a 2013.

## 5. CONCLUSÕES

A partir das imagens dos satélites Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI), foi possível a obtenção de dados quantitativos que mostram que o balanço sedimentar total, em área, no período analisado foi negativo, com predomínio de áreas de erosão. Após o período de 1984 a 1994, onde predominou a acresção, toda a costa passou a sofrer

processos erosivos, tendo mais destaque a área B, que apresentou a maior área erodida tanto no período de 1994 a 2003, quanto no período de 2003 a 2013, e vem tendo uma taxa decrescente de áreas de acresção. Após o período de 1994 a 2003, a área A voltou a apresentar balanço sedimentar levemente positivo.

De acordo com os dados obtidos, e pela visualização das imagens geradas, foi possível observar que o processo erosivo diminui de intensidade no sentido Leste-Oeste. Esse fator é condizente com o fluxo migratório de sedimentos para a região, com sentido Sudeste-Noroeste, determinado no projeto RIOMAR. Porém, ainda não há dados suficientes referentes a quantificação da atuação dos processos sedimentares, não sendo assim possível fazer uma correlação clara entre os processos consequentes das correntes marinhas, do aporte eólico e do aporte fluvial do Rio Acaraú.

Portanto, a metodologia adotada foi eficaz no auxílio da análise quantitativa multi-temporal, que permitiu a obtenção de diversas informações acerca da dinâmica costeira da região, ainda sendo necessário um maior estudo e detalhamento acerca dos processos envolvidos do qual resulta essa dinâmica.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela oportunidade de participar do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica.

### **Referências bibliográficas**

- AMARO, V.E.; SANTOS, M.S.T.; SOUTO, M.V.S. Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão. 1. ed. Natal: Autor, 2012. v. 1. 118p.
- ARAÚJO, M.V. Análise multitemporal da linha de costa do município de Acaraú – Ceará – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011a, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7674-7681.
- ARAÚJO, T.M.S de. Plantas exóticas na APA do Lagamar do Cauípe-CE. 2011b. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, UECE, Fortaleza, 2011.
- BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. Introdução à Geologia Marinha. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 279p.
- CAVALCANTE, J.C; VASCONCELOS, A.M; MEDEIROS, M.F; PAIVA, I.A. Mapa Geológico do Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da bacia do Acaraú / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará – Fortaleza: INESP, 2009. 128p.: il.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da bacia do Acaraú / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará – Fortaleza: INESP, 2009. 120p.: il.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da bacia do Litoral / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Fortaleza: INESP, 2009. 96p.: il.
- FARIAS, E.G.G. Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, LABOMAR, UFC, Fortaleza, 2008.
- FREIRE, G.S.S. Geologia Marinha da Plataforma Continental do Estado do Ceará. 1985. 162p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1985.

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais [e] Coordenação de Geografia. Indicadores de desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/biblioteca/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 05.out.2014.
- LIMA, C.C.U. Caracterização sedimentológica e aspectos neotectônicos do Grupo Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia. 2002. 141 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.
- MORORÓ, E.A.A.; SILVA, R.M.N.; SOUTO, M.V.S.; DUARTE, C.R. 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. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17, 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6991-6997.
- MORAES, M. V. A. R.; MANSO, V. do A. V.; FREIRE, G. S. S.. Morfologia e sedimentologia do litoral e da plataforma continental interna do município de Acaraú – Ceará – Brasil. 2012. 232p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- 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. (Org.). Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília: MMA, 2006. 476p.
- PINHEIRO, D.R. de C. (Org.) 2006. Desenvolvimento Sustentável: desafios e discussões. ABC Editora. Rio. São Paulo – Fortaleza, 384p.
- SILVA, A.M.C. Relações entre a dinâmica costeira e a meio fauna dos sedimentos praias do litoral da Ilha de Itamaracá – PE. 2005. 139p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.
- SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. Revista Geociências, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 461-479, 1999.
- SOUZA, W.F. Sensoriamento Remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaço temporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará – Brasil. 2016. 135 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.