

## Alterações morfológicas e evolução da carcinicultura no Sistema Lagunar de Guaraíras - RN

Fernando Roversi <sup>1</sup>  
Ada Cristina Scudelari <sup>2</sup>  
Maria de Fátima Alves de Matos <sup>2</sup>  
Venerando Eustáquio Amaro <sup>3</sup>  
Paulo Cesar Colonna Rosman <sup>1</sup>  
Claudio Freitas Neves <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ  
Av. Horácio Macedo, 2030 - CT Bloco C - Sala 209 - Ilha do Fundão  
Cidade Universitária - 21941-972 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil. Caixa Postal 68508.  
fernandroversi@gmail.com, pccrosman@ufrj.br, neves@peno.coppe.ufrj.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do  
Norte - PEC/UFRN  
Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n - 59072-970 - Natal - RN, Brasil.  
ada@ct.ufrn.br, mfatimaalves.m@gmail.com

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio  
Grande do Norte – CCET/UFRN  
Campus Universitário, Lagoa Nova, s/n, - 59072-970 - Natal - RN, Brasil.  
venerandoamaro@gmail.com

**Abstract.** This paper presents a spatio-temporal analysis of the Guaraíras Lagoon System (Rio Grande do Norte State, Brazil) focusing on its morphological changes and the shrimp farming expansion over the last 32 years. The local history is marked by an abrupt transition of its ecosystem about hundred years ago, that has transformed its ecological, morphological and socio economic characteristics till current days. The investigation was based on the complete collection of Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI imagery, from 01/01/1985 to 10/31/2016. Data processing was performed using Google Earth Engine platform (cloud computing) and ArcMap 10.2.2 software. Eight mosaics - adopting reduced cloud coverage (minimum *Cloud Score*) at four-year intervals - were generated to compose RGB colored images using spectral bands: SWIR, NIR and Blue. Such combination highlighted shorelines and contrasted bodies of water. Areas computed by supervised classification were compared to the areas computed by orthophotos vectorization (2,0 m spatial resolution). The results pointed an intense erosive process at the inlet channel at an average retreat rate of 6.84 m/year (measured on the region of greatest change). It could also be observed an expressive expansion of the shrimp farming activity around the entire lagoon system at an average growth rate of 30.3 ha/year. Currently it covers a total area of 1,528.1 ha.

**Palavras-chave:** coastal lagoons, spatio-temporal analysis, Landsat imagery, lagoas costeiras, análise espaço-temporal, imagens Landsat.

### 1. Introdução

A carcinicultura estabelece-se em vários estuários do Nordeste brasileiro como uma promissora atividade econômica, reunindo vários benefícios: geração de empregos, fixação do contingente de pescadores em cenário de decréscimo da captura e fonte de alimentação. O Estado do Rio Grande do Norte (RN) desponta como grande produtor de camarões devido à sua extensão costeira, com vários ambientes estuarinos propícios à construção e operação de viveiros. Entretanto, a instalação de tais viveiros implica na ocupação de extensas áreas no entorno e no interior de lagunas, trazendo como consequência a modificação do prisma de maré, *i.e.*, do volume de água do mar que entra no ambiente lagunar durante um ciclo de maré. Esse efeito implica numa potencial alteração dos padrões de correntes e da dinâmica de deposição de sedimentos, tanto na embocadura quanto no interior das lagunas.

Neste contexto, escolheu-se o Sistema Lagunar de Guaraíras pelo seu interessante histórico e pela presença de viveiros de camarão, seja no entorno, em áreas previamente ocupadas por mangues ou alagadiças, ou ainda no interior das lagoas, por meio da construção de diques. A análise temporal de imagens multiespectrais de satélite mostra-se especialmente vantajosa para a condução deste trabalho de investigação, cujo objetivo é destacar e quantificar as principais alterações na morfologia e na ocupação desse sistema lagunar ao longo dos últimos anos.

## 2. Área de Estudo

O Sistema Lagunar de Guaraíras está localizado na região meridional da costa do RN, aproximadamente 50 km ao sul da capital, a cidade de Natal. Atualmente, trata-se de um ecossistema tipicamente estuarino, constituído por um conjunto de três corpos d'água interligados: a Laguna de Guaraíras, ao sul, e as Lagoas de Nísia Floresta e Papeba, ao norte (Figura 1). Sua ligação com o mar se dá através de uma embocadura junto ao Município de Tibau do Sul, formada após a ruptura permanente da barra da Lagoa de Guaraíras durante uma grande cheia dos rios afluentes, Jacu e Trairi, no ano de 1924 (Bagnoli e Farias, 1995). Anteriormente sua conexão com o mar era restrita a um curso d'água localizado 10,0 km ao norte da embocadura atual, denominado Rio Camurupim (DNOS, 1944, apud Melo, 2000). Tal configuração limitava a intrusão salina no sistema e mantinha a atual Laguna de Guaraíras com características típicas de um ecossistema de águas doces.

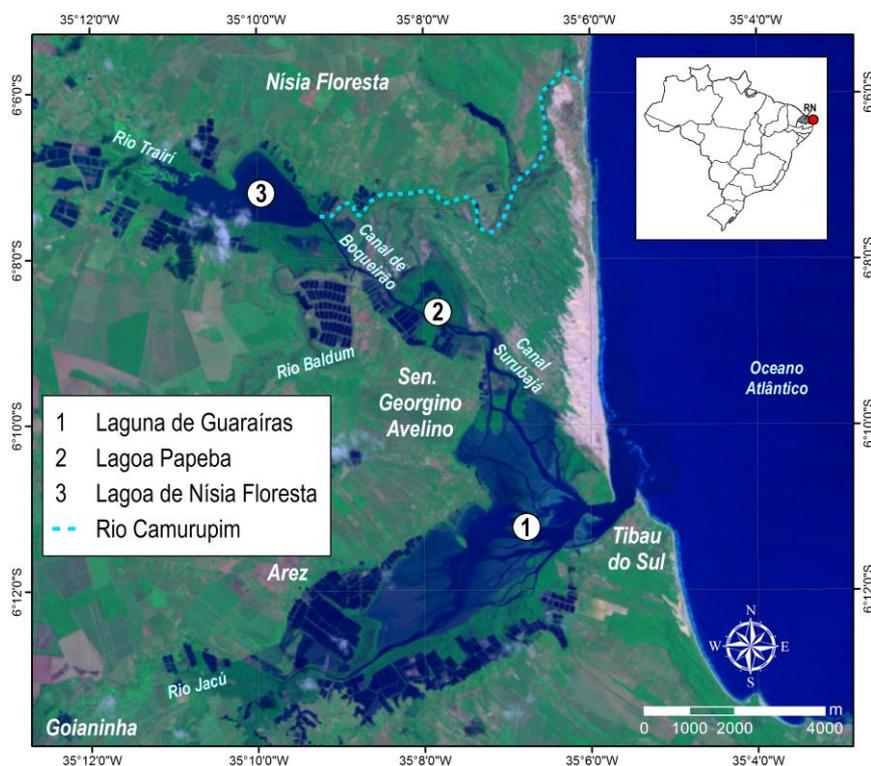


Figura 1. Localização do Sistema Lagunar de Guaraíras, entre os municípios de Tibau do Sul, Arez, Goianinha, Senador Georgino Avelino e Nísia Floresta (RN). A linha tracejada representa o curso do Rio Camurupim, por onde as águas do sistema escoavam em direção ao mar, anteriormente à abertura da embocadura. No entorno do sistema destaca-se a existência de viveiros utilizados pela atividade de carcinicultura. Imagem Landsat 5, de 06/09/2010. Composição colorida R7G4B1.

A conexão do sistema com o mar implicou numa transição ambiental caracterizada por modificações morfológicas, ecológicas e socioeconômicas. As águas provenientes da Bacia

do Rio Trairi passaram a fluir pelo sistema preferencialmente em direção à Laguna de Guaraíras, reduzindo a vazão afluyente do Rio Camurupim e favorecendo o processo de assoreamento do seu canal (Carvalho, 1978). O incremento da salinidade da água do sistema proporcionou o crescimento de manguezal ao redor do espelho d'água e também o surgimento de animais aquáticos marinhos. A captação de água diretamente da laguna para abastecimento das comunidades locais e para uso na agropecuária foi inviabilizada, ao passo que as novas condições favoreceram o desenvolvimento da atividade de carcinicultura, atualmente uma das principais atividades econômicas da região.

Segundo Wainberg (1999), a partir da década de quarenta foram construídos diques com intuito de proteger as terras agrícolas e pecuárias da salinização no entorno de Guaraíras. Após o aparecimento espontâneo de peixes e camarões nas valas de drenagem inundadas, deu-se início a construção de viveiros abastecidos pela maré, num sistema extensivo de cultivo.

### 3. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste estudo foi considerada a coleção completa de cenas dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, órbita/ponto 214/064, adquiridas entre 01/01/1985 e 31/10/2016 através da cooperação entre os órgãos *United States Geological Survey* (USGS) e *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). As imagens possuem resolução espacial de 30 m e são georreferenciadas com nível de correção geométrica L1T (*Level 1 Terrain*) (USGS, 2016).

A partir dessa coleção de cenas foram gerados oito mosaicos, nos limites da área de estudo (Figura 1), utilizando os dados que apresentaram a mínima cobertura de nuvens em intervalos de quatro anos. Tal processamento foi realizado através do algoritmo *Landsat.simpleComposite* da plataforma *Google Earth Engine*, baseada em *cloud computing*. A operação consiste na aplicação da calibração padrão TOA (*top of atmosphere*) seguida de uma avaliação de probabilidade de nuvens (*Cloud Score*). Cada *pixel* da composição recebe as informações das cenas com menor *Cloud Score* dentro do intervalo analisado (Google Earth Engine API Documentation, 2016).

Com intuito de destacar os contornos dos corpos d'água do sistema lagunar e dos viveiros construídos em seu entorno foram utilizadas as composições coloridas no sistema de cores *Red-Green-Blue* (RGB) R7G4B1 e R7G5B2, para os satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, respectivamente. As bandas selecionadas correspondem ao infravermelho de ondas curtas (SWIR), ao infravermelho próximo (NIR) e ao azul. Sobre essas composições foram ainda realizados ajustes de contraste nos histogramas, para um maior realce das feições de interesse (Figura 4).

Inicialmente foram comparadas as composições para os anos “1985-1988” e “2013-2016”, que representam os extremos do intervalo de tempo considerado. Por meio do *software* ArcMap 10.2.2, os *pixels* dessas duas composições foram classificados em “água” ou “terra”, utilizando o método comumente utilizado de Máxima Verossimilhança para Classificação Supervisionada. As áreas de treinamento foram definidas por polígonos representativos de cada uma das classes, de acordo a tonalidade, feições e o contexto visualizado. Os resultados das classificações (Figuras 5.a e 5.b) foram combinados para geração de uma nova imagem *raster*, classificada em duas categorias: “*terrenos que se tornaram cobertos por água*”, devido a erosão, construção de viveiros ou surgimento de apicuns; ou “*áreas antes cobertas por água que foram aterradas*”, devido à progradação da margem do corpo d'água, crescimento de vegetação ou assoreamento (Figura 5.c). Tal análise foi inspirada nos resultados apresentados por Donchyts et al. (2016).

Após a análise geral de alterações morfológicas no entorno do sistema lagunar, foi então analisada em detalhe a região da embocadura, cuja alteração mostrou-se mais pronunciada em

relação às demais regiões. As margens do canal foram vetorizadas (Figura 2) e sua largura foi mensurada, para cada uma das oito composições geradas.

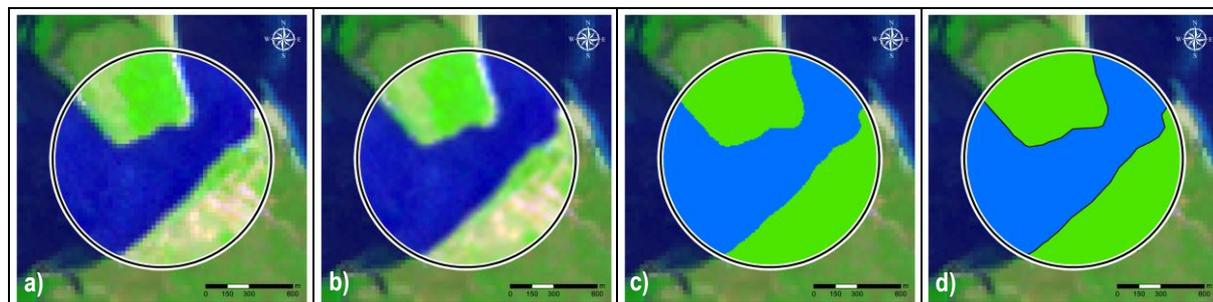


Figura 2. Vetorização das margens do canal da embocadura (d), precedida de: realce de cores da região destacada para análise (a), reamostragem de *pixels* utilizando interpolação linear com 10,0 m de espaçamento (b) e classificação supervisionada da imagem em duas classes: “água” ou “terra” (c).

Para uma análise em detalhe da evolução da ocupação no entorno do sistema por viveiros de camarão, foi definido um recorte onde visualmente verificava-se a existência da atividade, baseado na tonalidade e nas feições geométricas. Essa área foi destacada, suas cores foram realçadas e os seus *pixels* foram classificados em “carcinicultura” ou “não ocupado”, por meio do mesmo método mencionado anteriormente (Máxima Verossimilhança) (Figura 3). Os resultados foram sobrepostos a cada uma das composições e a área classificada foi quantificada. Para verificação dos resultados da classificação foram utilizadas ortofotos obtidas por meio de um levantamento aéreo da região realizado ano de 2006, com resolução espacial de 2,0 m (SETUR/SIN, 2006). Todas as análises efetuadas sobre as composições foram realizadas por meio do *software* ArcMap 10.2.2.

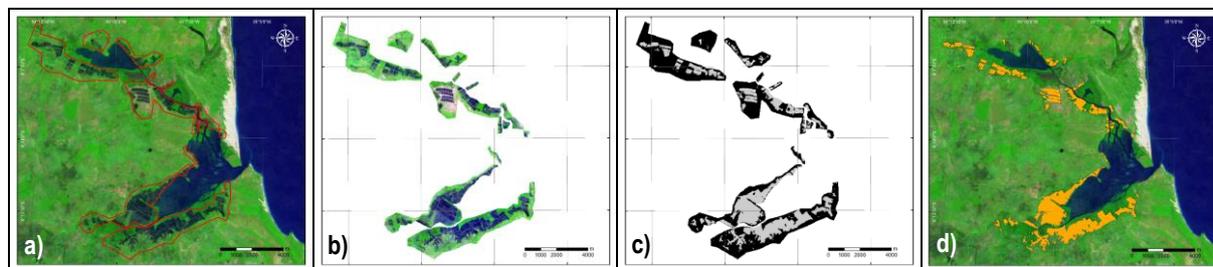


Figura 3. Identificação da ocupação pela atividade de carcinicultura. a) Verificação visual da existência de viveiros. b) Recorte da imagem e realce de cores. c) Classificação supervisionada. d) Sobreposição das áreas classificadas como “carcinicultura” com a imagem original.

#### 4. Resultados e Discussão

As composições coloridas multitemporais, geradas em intervalos de tempo regulares de 4 anos, abrangem um período total de 32 anos de dados (Figura 4). Para geração das composições foram testados também intervalos de tempo de um 1 ano, 2 anos e 3 anos. A utilização de intervalos inferiores comprometeu a visibilidade da área, em função da presença de nuvens na maioria das cenas. A técnica aplicada forneceu maior riqueza de informações espaciais, garantindo a visibilidade da área de estudo como um todo e organizando as composições em intervalos temporais igualmente espaçados. Ressalta-se que cada composição mostra informações representativas de um período e não pode ser tomada como um instante específico, balizando então uma análise de tendências gerais da dinâmica espaço-temporal existente na região.

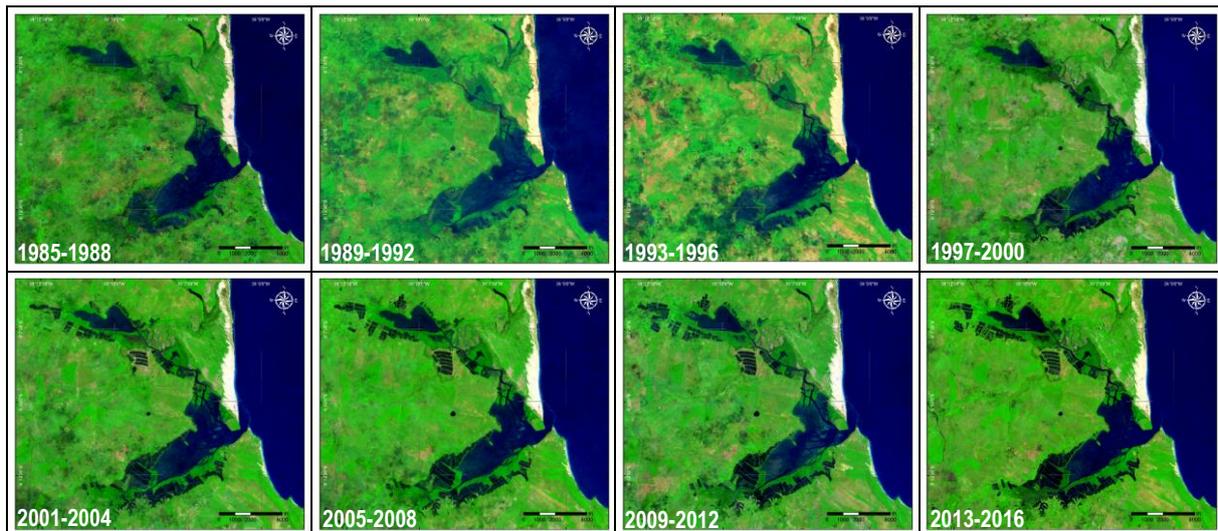


Figura 4. Composições a partir de imagens dos satélites Landsat 5 TM (R7G4B1) e Landsat 8 TM (R7G5B2), de jan/1985 a out/2016 em intervalos de 4 anos, utilizando o algoritmo *Landsat.simpleComposite* da plataforma *Google Earth Engine*. Apenas a composição “2013-2016” utiliza imagens do satélite Landsat 8, as demais são do satélite Landsat 5.

A comparação entre as composições que definem os extremos do intervalo analisado, considerando as classes “água” e “terra” permitiram avaliar as principais alterações no sistema lagunar de 1985 a 2016 (Figura 5). A partir da Figura 5.c é possível constatar: *i*) a grande extensão das áreas ocupadas pela construção de viveiros em todo entorno do sistema lagunar; *ii*) as margens que sofreram progradação, com significativo crescimento de vegetação de manguezal, p.ex., na parte sul da Laguna de Guarairás, na foz do Canal Surubajá e em todo o entorno da Lagoa Papeba; *iii*) os terrenos alagados (apicuns) que foram assoreados e o surgimento de apicuns em áreas de manguezal, e.g., em uma área na margem nordeste da Laguna de Guarairás e também na margem sul junto ao encontro do Canal de Boqueirão com a Lagoa de Nísia Floresta; *iv*) um processo erosivo pronunciado localizado na margem norte da embocadura, na parte interna do canal.

Na margem sul da embocadura verifica-se também a ocorrência de erosão, porém de forma menos pronunciada e com mais destaque na extremidade externa do canal. De acordo com um levantamento batimétrico efetuado em 2004 pelo IDEMA (2004), observa-se que nessas regiões mencionadas as profundidades do canal chegam a 8,0 m, as maiores profundidades do sistema como um todo. Tal característica é um indício de que as correntes de maré nessas regiões da embocadura possuem maior intensidade. Na área central da embocadura, região que apresenta a menor largura do canal, não foi identificada alteração pronunciada em suas margens. A análise temporal detalhada da alteração da largura do canal, em sua extremidade interna, indicou um processo erosivo contínuo, com uma taxa média de recuo de 6,84 m/ano. Ao longo do período analisado houve um recuo total de 219,0 m nesse local (Figura 6 e Figura 7).

Na Figura 8 é apresentada a evolução da área ocupada pela carcinicultura, tanto na forma de mapas com os resultados da classificação sobrepostos à cada composição, quanto na forma de uma série temporal da área total ocupada. O resultado da classificação da composição “2005-2008” foi comparado com o levantamento aerofotogramétrico de 2006 (SETUR/SIN, 2006), cujas áreas ocupadas foram vetorizadas previamente. A classificação baseada na composição com imagens do satélite Landsat subestimou as áreas verificadas nas ortofotos em 8,7%.

Os resultados indicaram uma taxa média de ocupação de 30,3 ha/ano, com um crescimento mais pronunciado no período de 2001-2004. Tal constatação está de acordo com

o histórico do panorama econômico nacional da atividade de carcinicultura marinha. De acordo com dados da ABCC (2016) a máxima produção nacional ocorreu em 2003 (90.190,0 t), acompanhada também por um significativo crescimento da área ocupada pela atividade.

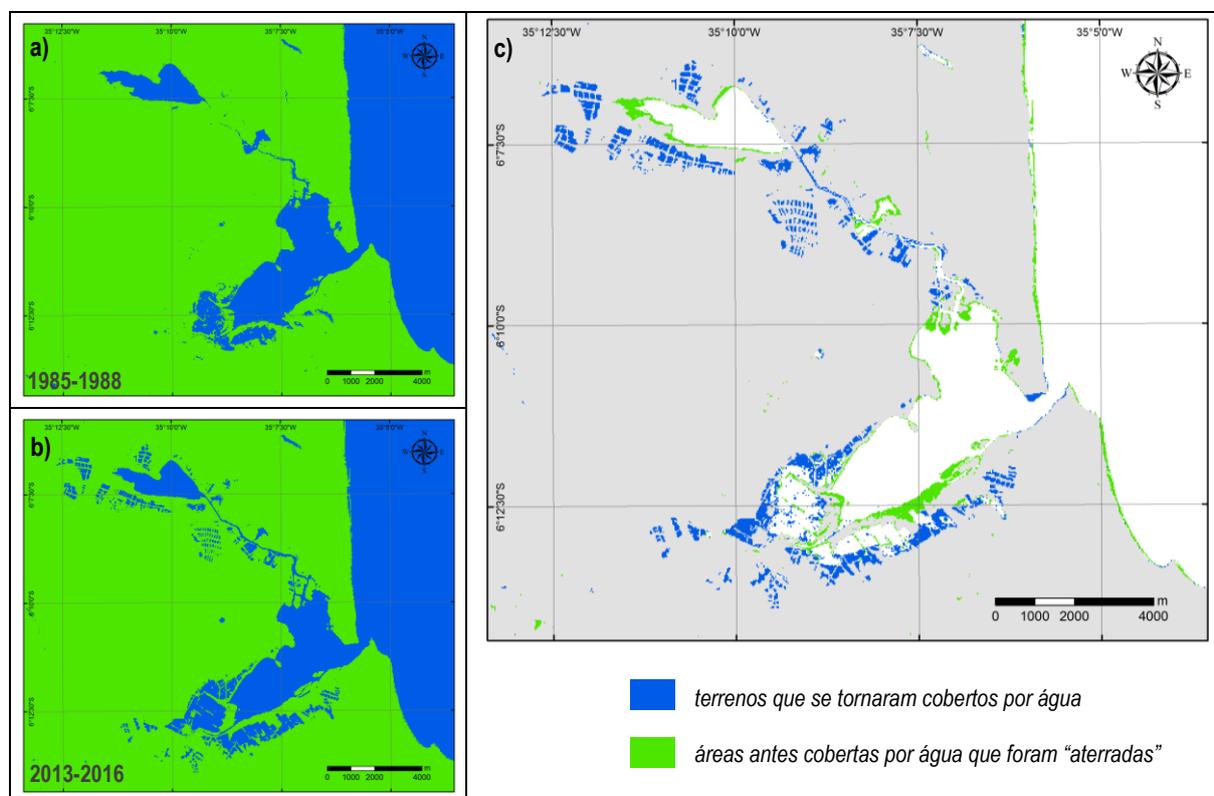


Figura 5. Comparação entre as classificações das composições entre os anos de “1985-1988” (a) e “2013-2016” (b), destacando as alterações mais significativas na morfologia dos corpos d’água e na ocupação do sistema por viveiros de camarão, ao longo de um período de 32 anos (c).

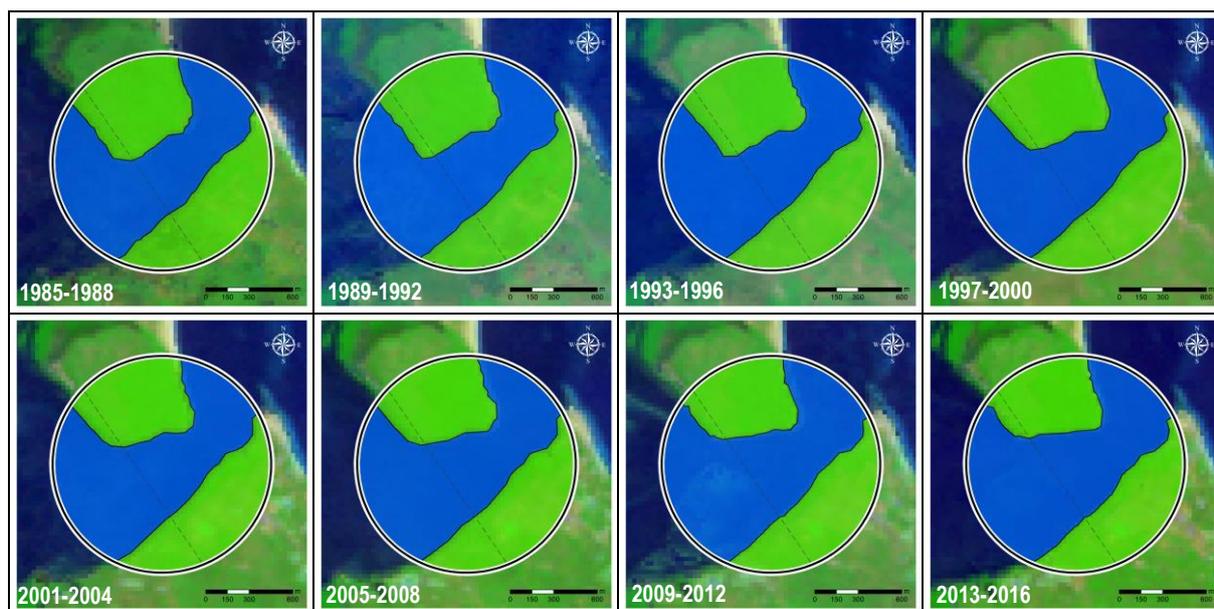


Figura 6. Alteração da morfologia da embocadura da Laguna de Guaraíras entre os anos de 1985 e 2016. Utilização de uma direção fixa como referência (linha tracejada) para análise temporal da alteração mais significativa na largura do canal.

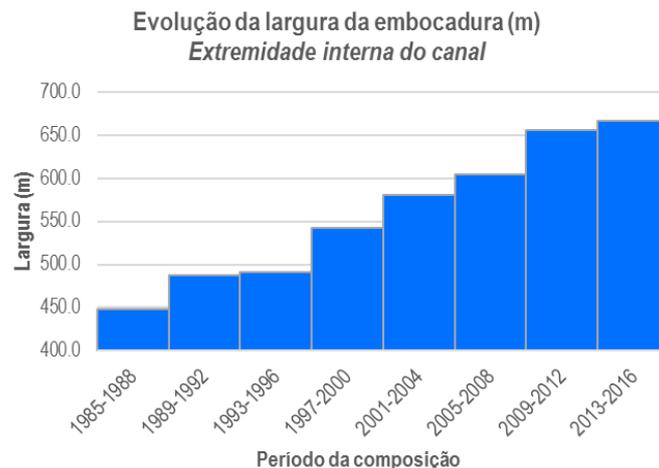


Figura 7. Evolução da largura da embocadura do Sistema Lagunar de Guaraíras entre os anos de 1985 e 2016. Medição efetuada sobre a linha tracejada, apresentada na Figura 6, região de maior alteração morfológica.

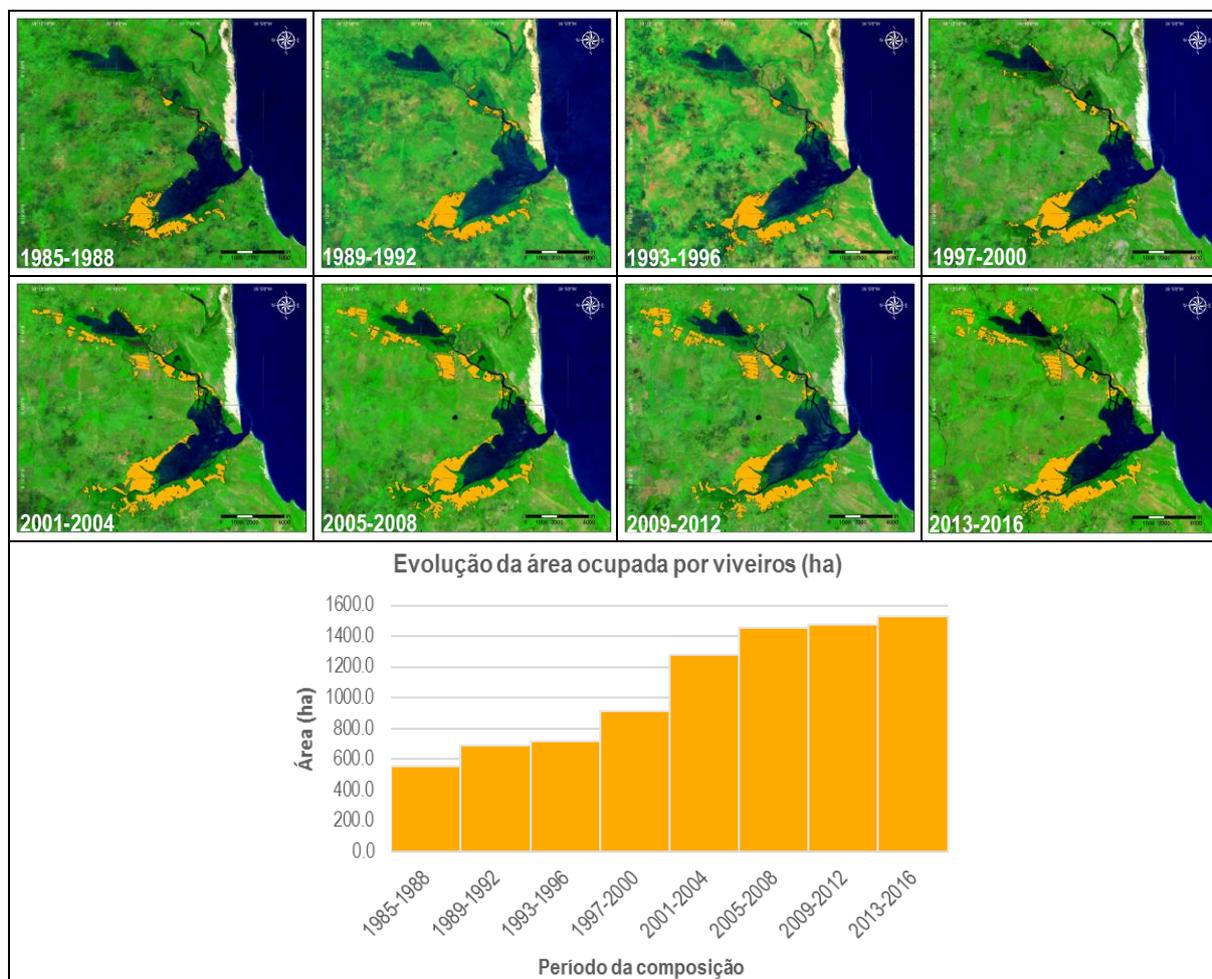


Figura 8. Evolução da ocupação pela atividade de carcinicultura no entorno do sistema Lagunar de Guaraíras entre os anos de 1985 e 2016.

Constatou-se que atualmente a área ocupada pela carcinicultura no entorno do sistema é de 1.528,1 ha. Considerando uma coluna d'água média de 1,2 m em toda a área dos viveiros, pressupõe-se que exista um volume total de água de aproximadamente  $1,8 \times 10^7 \text{ m}^3$

armazenado pela atividade. Esse valor corresponde a 68,5% do prisma de maré estimado para o Sistema Lagunar de Guaraíras.

## 5. Conclusões

O presente estudo permitiu mapear e quantificar as principais alterações morfológicas do Sistema Lagunar de Guaraíras e a também a ocupação pela atividade de carcinicultura em seu entorno, tendo como base imagens de satélite coletadas nos últimos 32 anos. A área de estudo possui um histórico ambiental marcado pela transição abrupta de seu ecossistema ocorrida acerca de 100 anos atrás cujas implicações, relacionadas aos aspectos ecológicos, morfológicos e socioeconômicos locais, perduram até os dias de hoje. Além da constatação do crescimento de vegetação de manguezal juntamente com a progradação das margens, reduzindo o espelho d'água em diversas áreas interiores do sistema, foi destacado o intenso processo erosivo existente na região da embocadura, provocado principalmente pelo efeito das correntes de maré no canal. Nota-se ainda uma expansão expressiva da atividade de carcinicultura no entorno do sistema lagunar como um todo, a uma taxa média de instalação de viveiros de 30,3 ha/ano, cobrindo atualmente uma área total de 1.528,1 ha.

## Referências Bibliográficas

ABCC - Associação Brasileira de Criadores de Camarão. **Desempenho da Carcinicultura Marinha Brasileira**. Disponível em: <<http://abccam.com.br/site/desempenho-da-carcinicultura-marinha-brasileira/>>. Acesso em: 15.nov.2016.

Bagnoli, E.; Farias, P. R. C. Evolução, em tempos históricos, da morfologia da “Lagoa” de Guaraíras, litoral do sul do Estado do Rio Grande do Norte. In: Simpósio Sobre Processos Sedimentares e Problemas Ambientais na Zona Costeira Nordeste do Brasil, 1, 1995, Recife. **Anais...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1995. 184p.

Carvalho, S. M. G. C. de. **Sedimentos da Lagoa de Guaraíra**. 1978. 91 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 1978.

Donchyts, G.; Baart, F.; Winsemius, H.; Gorelick, N.; Kwadijk, J.; Giesen, N. Earth's surface water change over the past 30 years. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 810–813, 2016.

Google Earth Engine API Documentation. Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/>>. Acesso em: 14.nov.2016.

IDEMA - Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte. **Caracterização Física, Físico-Química e Química dos Estuários Apodi, Conchas, Cavalos, Açú, Guamaré, Galinhos, Ceará-Mirim, Potengi, Papeba e Guaraíra: Relatório Final 2**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004. 36 p.

Melo, F. T. L. de. **Aspectos morfo-dinâmicos do complexo Lagunar Nísia Floresta - Papeba - Guaraíras, região costeira sul oriental do RN**. 2000. 75 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2000.

SETUR/SIN - Secretaria de Estado da Infraestrutura do Rio Grande do Norte e Secretaria de Estado do Turismo do Rio Grande do Norte. **Base Cartográfica dos Municípios do Polo Costa das Dunas**. Ortofotos 1:25.000. TOPOCART - Topografia Engenharia e Aerolevantamentos Ltda. Brasília, 2006.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat Product Information**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov>>. Acesso em: 14.nov.2016.

Wainberg, A. A. **Estudo sobre a evolução da ocupação das margens da Lagoa de Guaraíra nas décadas de 70 a 90 por florestas de mangues e viveiros de carcinicultura**. 1999. 56 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Bioecologia Aquática do Departamento de Oceanografia e Limnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 1999.