



QUANTIFICAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO NA PRAIA DO ICARAÍ (CEARÁ, BRASIL) ENTRE OS ANOS DE 2004-2018 ATRAVÉS DO MÉTODO DO POLÍGONO DE MUDANÇA

Tayane Fiorelli Moreira¹, Miguel da G. Albuquerque², Davis Pereira de Paula³, Jean Espinoza², Deivid Leal Alves⁴ & Thais Ferreira da Conceição¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande, Campus Carreiros, Av. Itália, KM 08 – Rio Grande-RS, Brasil, CEP: 96.203-900, taymoreira2015@gmail.com, prof.thaisferreirac@gmail.com.

² Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Campus Rio Grande, Rua Eng. Alfredo Huck, 475 – Centro, Rio Grande - RS, Brasil, CEP: 96.201-460, migueldaguia@gmail.com, jean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br.

³ Universidade Estadual do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Campus do Itaperi, Fortaleza-CE, Brasil, CEP: 60.714.903, davis.paula@uece.br.

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Campus do Vale, Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre - RS, 91501-970. dclealalves@gmail.com.

RESUMO

Por se enquadrarem nos ambientes mais dinâmicos do planeta, as zonas costeiras merecem uma atenção especial. Através disso, uma percepção em ampla escala de seu comportamento se torna fundamental para as tomadas de decisões de gestores costeiros. Logo, a presente pesquisa tem como objetivo quantificar as variações ocorridas na linha de costa da praia do Icaraí, localizada no município de Caucaia (CE) entre os anos de 2004 e 2018 através do método do polígono de mudança. Dado que a localidade sofre com as ressacas marítimas cada vez mais intensas, as construções civis cada vez mais próximas à linha de costa e os barramentos posicionados ao longo de toda a extensão do rio Ceará - impedindo que os sedimentos cheguem à orla marítima, sua região costeira se torna vulnerável aos eventos erosivos. Fato que levou a gestão municipal, em 2010, a tomar medidas de emergência para evitar desastres futuros, a construção de um dissipador de energia das marés (*bag wall*) para conter o recuo da linha de costa. Por fim, notou-se com os resultados dessa pesquisa a significativa retrogradação que ocorreu na zona costeira da praia do Icaraí, validando assim, o método do polígono de

mudança, como adequado para verificação das taxas de variação de linhas de costa.

Palavras-chave: Polígono de mudança; retrogradação; erosão costeira, zona costeira.

QUANTIFICATION OF THE EROSIVE PROCESS ON THE ICARAÍ BEACH (CEARÁ, BRAZIL) BETWEEN 2004 – 2018 THROUGH THE CHANGE POLYGON METHOD

ABSTRACT

Because they fit into the most dynamic environments on the planet, the coastal areas deserve special attention. Through this, a wide-scale perception of their behavior becomes central to coastal managers' decision-making. Therefore, the present research aims to quantify the variations occurring in the Icaraí beach shoreline, located in the municipality of Caucaia (CE) between 2004 and 2018 through the change polygon method. As the locality suffers from the increasingly intense sea hangover, civil constructions increasingly close to the shoreline and structures positioned along the entire length of the Ceará River - preventing the



sediments from reaching the sea's edge, vulnerable to erosion events. A fact that led the municipal management in 2010 to take emergency measures to prevent future disasters, the construction of a tidal energy sink (bag wall) to contain the retreat of the coastline. Finally, the results of this research showed the significant retrogradation that occurred in the coastal zone of the beach of Icaraí, thus validating the change polygon method, as appropriate to verify the rates of variation of shoreline.

Key-words: Change polygon method; retrogradation; coastal erosion, coastal zone.

INTRODUÇÃO

O aumento substancial da população costeira nos últimos 40 anos tem sido realizado de uma forma não planejada e desorganizada (KLEIN & SHORT, 2016). Esse fator, somado aos eventos extremos (i. e., ressacas marítimas e elevação no nível médio do mar) e às intervenções antrópicas (i. e., construções civis próximas à orla marítima) culminam na intensa erosão costeira dessas regiões que acabam por desgastar a orla marítima (MUEHE, 2005).

Sendo assim, observa-se como os programas/as políticas de gestão para intervenções antrópicas e planejamento urbano são de extrema importância para evitar o desgaste das zonas costeiras. O avanço da linha de costa em direção ao continente pode ocasionar prejuízos à sociedade, como mudanças na dinâmica praial e desgaste de construções civis. Devido a isso, para que se possa gerir de maneira mais eficiente essas áreas vulneráveis, torna-se interessante o conhecimento da posição da linha de costa.

Seguindo esse viés, com o uso das técnicas de geoprocessamento, como o processamento digital de imagens e o sensoriamento remoto, foi possível extrair a posição da linha de costa da praia do Icaraí nos últimos anos, com a finalidade de caracterizar as taxas de variação posicional. A presente proposta se apresenta como uma ferramenta de auxílio à gestão

pública do município de Caucaia, no que diz respeito à tomada de decisões e prováveis intervenções na localidade, para que a população local esteja ciente do panorama do processo erosivo que vem ocorrendo de forma gradativamente mais severa desde o fim da década de 1990.

A partir do exposto, a presente pesquisa visou utilizar técnicas de detecção da variação da linha de costa para quantificar as variações espaço-temporais ocorridas na linha de costa da Praia do Icaraí, localizada no município de Caucaia, no estado do Ceará (Figura 1), entre os anos de 2004 a 2018, através do método do Polígono de Mudança proposto por Smith & Cromley (2012), permitindo uma visualização ampla da dinâmica costeira da praia do Icaraí.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Praia do Icaraí está localizada no município de Caucaia (CE, Brasil), nas coordenadas centrais de Latitude 3° 40' S e Longitude 38° 40' O. A área possui média de temperatura de 28°C ao longo de todo o ano, clima tropical e chuvas cada vez mais recorrentes. Tornar-se um atrativo turístico por se tratar de uma zona litorânea, a localidade atrai um alto fluxo de pessoas, além de propiciar o estabelecimento de novas moradias fixas, o que aumenta a faixa de área edificada de até então com 11,74 km² (FAÇANHA et al. 2017). A localidade é caracterizada, também, por um déficit sedimentar em virtude dos diversos barramentos localizados ao longo do rio Ceará (fator que reduziu o auxílio sedimentar para a praia do Icaraí), pelas ressacas marítimas e pelas construções civis cada vez mais próximas à linha de costa (FAÇANHA et al., op. cit.). Esses fatores somados às interferências antrópicas vêm avançando em direção à orla, causando uma desestabilidade na dinâmica costeira local e um recuo significativo da linha de costa.

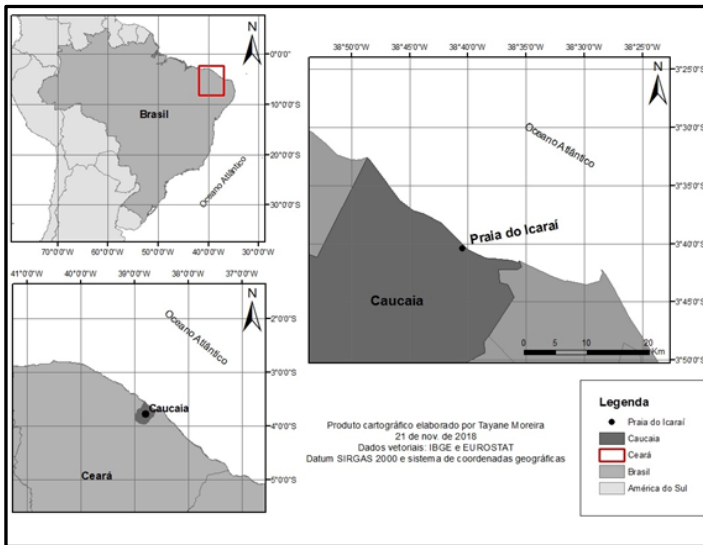


Figura 1: Área de estudo. Fonte: Própria da pesquisa.

A retrogradação da linha de costa estava tornando-se um perigo para a população que ali residia, logo, em 2010, percebeu-se a necessidade da construção de um *bag wall* (estrutura rígida construída em forma de degraus) para minimizar a energia das ondas e evitar ao máximo os prejuízos provocados por elas. Contudo, em 2012, as frequentes ressacas marítimas retomaram o intenso processo erosivo, o que ocasionou a destruição parcial do *bag wall* (Figura 2).



Figura 2: *Bag wall* parcialmente destruído na Praia do Icarai.
Fonte: Oliveira, 2014.

O mesmo foi reconstruído no início de 2013, entretanto, retornou a ser destruído pela maré por volta do final do mesmo ano (AMORICARAI, 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

Pré-processamento e vetorização manual das linhas de costa

A análise foi feita no intervalo de tempo do ano de 2004 e de 2011 a 2018 (obteve-se um intervalo de tempo entre as imagens de 2004 e 2011 devido à disponibilidade dessas) oriundas do satélite Quickbird (2004) e do satélite GeoEye (20011 a 2018) em conjunto com o Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO), através dos *softwares* AutoGR e Google Earth Pro. Todas as imagens foram organizadas em um mesmo *datum*, o *World Geodetic System 1984* (WGS 84), e projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Zona 24 Sul e exportadas na altitude de 2,1km no formato *Tagged Image File Format* (TIFF). Levando em consideração a perda da resolução espacial, as imagens exportadas adquirem um acréscimo de 0,5m/pixel no seu erro. Como a imagem de 2018 foi exportada do *software* AutoGR (módulo GGrab), teve as características originais do pixel da imagem inalterados.

De posse das imagens, foram realizados seus mosaicos no *software* ArcMap® 10.5 (uma extensão do pacote ArcGIS). Além do mosaico, tornou-se necessário corrigi-las para obter uma correspondência espacial entre os dados e viabilizar a comparação das taxas e distâncias de variação da linha de costa, pois, pelo fato de se tratar de uma análise temporal de dados, a correlação espacial das imagens é essencial. Segundo Albuquerque (2013) o corregristo refere-se a converter as imagens para manter uma correspondência espacial entre elas, aplicando três



transformações sobre os dados (rotação, translação e escala). Para o corregristo, foi efetuada a correção geométrica a partir da imagem base de 2004, previamente georreferenciada, obtendo-se 0,348 metros como RMS médio.

Após o corregristo, realizou-se a etapa de vetorização manual das linhas de costa na escala de 1:800, na posição da média das marés mais altas, que se designa pela diferença entre a areia seca e a areia molhada. De acordo com Maia (2014), esse é o geoindicador mais nítido em imagens de satélite (Figura 3)..

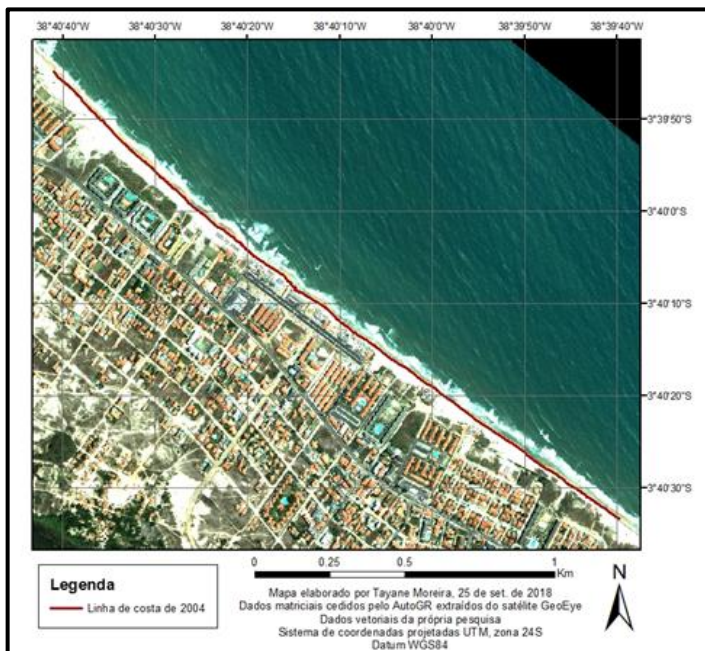


Figura 3: Vetorização manual das linhas de costa. Fonte: Própria da pesquisa.

Aplicação do método polígono de mudança

Segundo Leal *et al.* (2018) o polígono de mudança é o método que apresenta melhor resposta quando aplicado em áreas onde o desenho da linha de costa apresenta muitas reentrâncias, pois considera a área total para o cálculo ao invés de apenas pontos específicos na linha de costa. Para tanto, foi realizada a vetorização de uma linha base (localizada na Avenida

Central) e duas linhas de fechamento para determinar a área que vai ser estudada (Figura 4)..

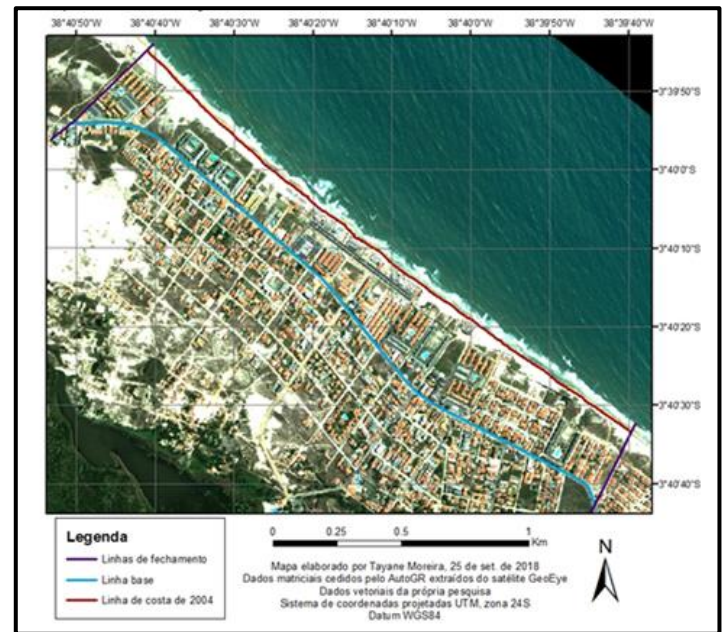


Figura 4: Mapa da linha base e das linhas de fechamento. Fonte: Própria da pesquisa.

Logo após, uniu-se todas as linhas previamente vetorizadas dentro do *software* ArcMap® 10.5, que resultaram na formação de diversos polígonos simples, que somados formam quadriláteros únicos, os polígonos (Figura 5). Após a elaboração dos polígonos de todos os anos, esses foram convertidos de arquivos vetoriais (*shapefile*) para arquivos matriciais (*raster*) a fim de serem inseridos dentro do *software* ENVI e subtraídos através da ferramenta *Compute Difference Map*.

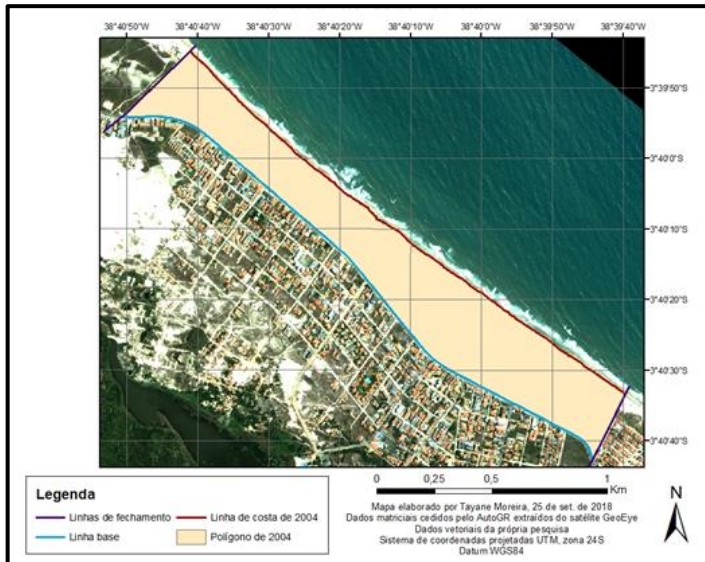


Figura 5: Vetorização do polígono de 2004. Fonte: Própria da pesquisa.

Essa ferramenta exibe como resultado um polígono que define como *change (+)* as áreas que obtiveram como resultado progradação, e *change (-)* as áreas que obtieram como resultado retrogradação. O resultado final se dá na forma de um saldo, que é calculado através da diferença entre a soma de todos os polígonos caracterizados como *change (+)* (Eq. 1) e todos os polígonos classificados como *change (-)* (Eq. 2).

$$A_{\text{progradação total}} = \sum_1^n A_{\text{progradação}} \quad \text{Eq. 1}$$

$$A_{\text{retrogradação total}} = \sum_1^n A_{\text{retrogradação}} \quad \text{Eq. 2}$$

Com isso, calcula-se a área total e as localidades onde ocorreram progradação e retrogradação, isto é, a soma todos os polígonos simples gerados como *change (+)* e *change (-)*, respectivamente. E a partir disso, realiza-se a geração das imagens diferença, que se dá pela demonstração em azul das áreas acresção e em vermelho para as áreas recuo da linha de costa (Figura 6).

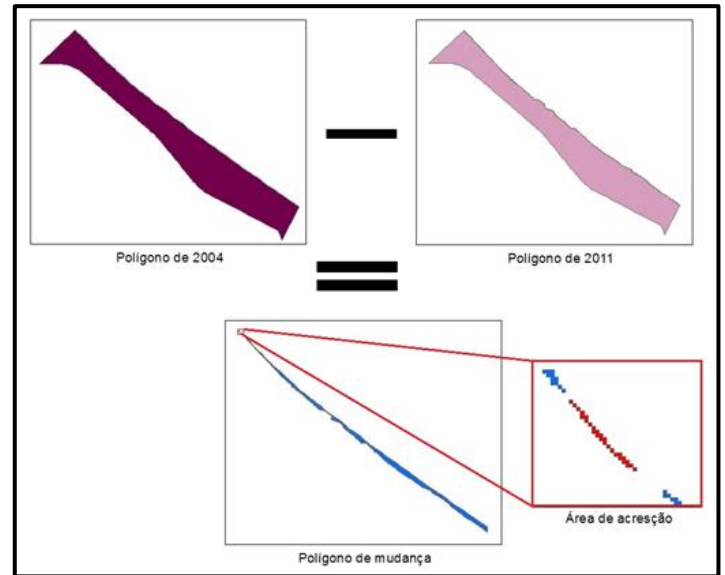


Figura 6: Imagem diferença do ano de 2011-2004. Fonte: Própria da pesquisa.

Feito isso, soma-se a área de progradação e retrogradação para atingir o saldo (Eq. 3), sendo esse negativo se houver mais erosão que acresção ou positivo se houver mais acresção do que erosão.

$$A_{\text{saldo final}} = \sum_1 A_{\text{progradação}} + \left(- \sum_1 A_{\text{retrogradação}} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

Uma vez que o saldo for obtido, deve dividi-lo pelo perímetro da linha de costa mais antiga, no caso deste estudo, a linha de costa de 2004, atingindo assim, a taxa de variação da linha de costa em metros. A figura 7 representa os intervalos temporais que foram subtraídos nessa pesquisa, sendo eles feitos aos pares para todos os anos e, ao final, do ano de 2018 em comparação com o ano de 2004 para obter a variação total da linha de costa no período estudado.

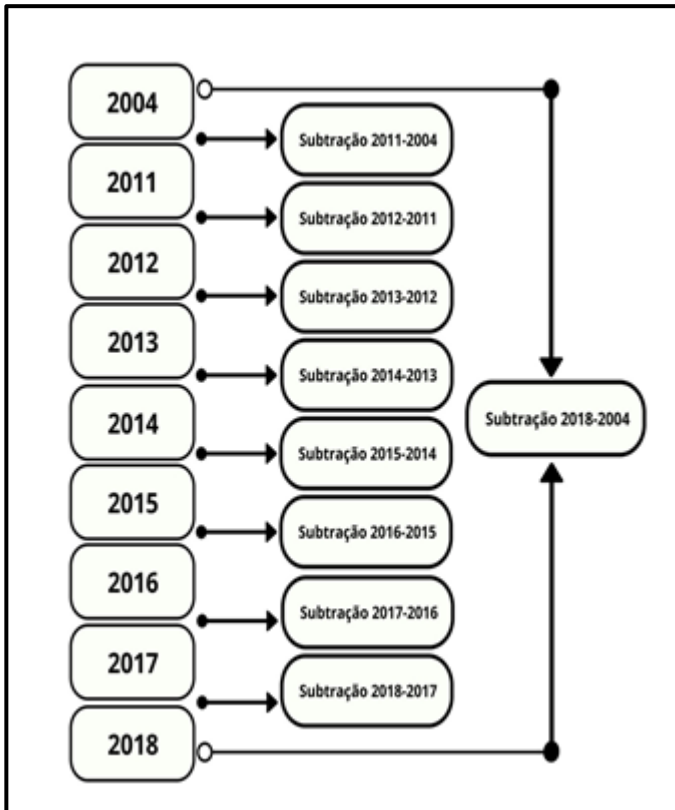


Figura 7: Fluxograma com as subtrações que serão realizadas.
Fonte: Própria da pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a aplicação do método do polígono de mudança para caracterizar as variações ocorridas na linha de costa da praia do Icaraí obteve-se como resultado as áreas totais onde houve progradação e retrogradação, bem como seu saldo de diferença e a taxa anual de variação em metros (Tabela 1). Percebe-se através dos cálculos como a linha de costa da praia do Icaraí retrogradou significativamente nos últimos 14 anos, resultando em um total de 50,42 metros de erosão e um saldo final de 127.427 m² de área retração.

Subtração dos anos	Resultados (m ²)		Saldo	Taxa anual (m)
	Progradação	Retrogradação		
2004 – 2011	78	-47.597	-47.519	-2.68
2011 – 2012	3	-49.378	-49.375	-18.12
2012 – 2013	10.381	-3.691	6.690	2.66
2013 – 2014	3.158	-18.510	-15.352	-6.07
2014 – 2015	6.548	-19.731	-13.183	-5.19
2015 – 2016	1.693	-19.100	-17.407	-6.41
2016 – 2017	3.827	-5.841	-2.014	-0.79
2017 – 2018	13.137	-2.404	10.733	4.20
2004 – 2018	0	-127.427	-127.427	-50.42*

* taxa de variação total do período

Tabela 1: Resultados das subtrações dos polígonos. Fonte: Própria da pesquisa.

De posse dos valores de variação anuais da linha de costa, tornou-se possível a elaboração de um gráfico para representar de modo mais dinâmico essas variações, contendo o período analisado no eixo horizontal e a taxa de variação em metros por ano no eixo vertical (Figura 8). Através do gráfico, observar-se os intervalos temporais mais extremos: sendo o intervalo entre 2011 e 2012 como o que apresenta maior taxa de retrogradação; e o intervalo entre o ano de 2017 e 2018, que apresenta a maior taxa de progradação. Nota-se que as taxas são, em sua maioria, regredidas.

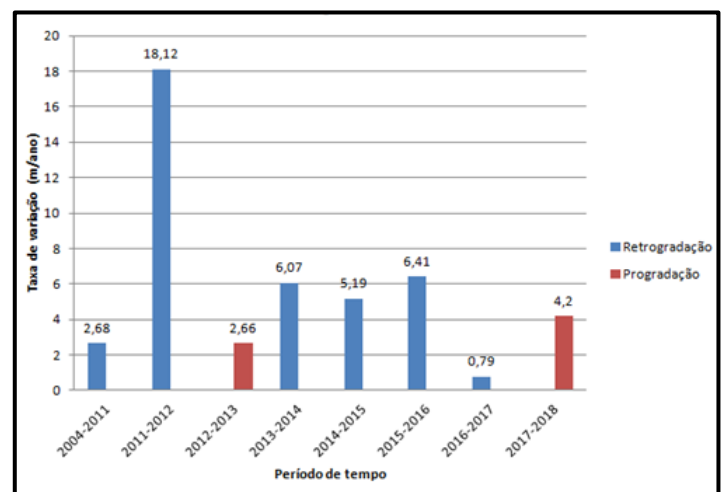


Figura 8: Taxas de variação da linha de costa. Fonte: Própria da pesquisa



Presumivelmente, esse fato ocorreu devido aos eventos de ressacas que, segundo Paula & Neto (2017) intensificam a locomoção vertical de nível da água, permitindo o espraiamento máximo das ondas na frente marinha urbana do Icaraí, que somados ao elevado número de construções civis neste lado da praia, acabam por agravar o processo de erosão costeira local. Sendo assim, a figura 9 demonstra a aplicação do método do polígono de mudança e vê-se como houve uma grande retrogradação da linha de costa da praia do Icaraí entre os anos de 2004 a 2018, culminando em uma grande erosão da zona costeira, principalmente do lado oeste da praia.

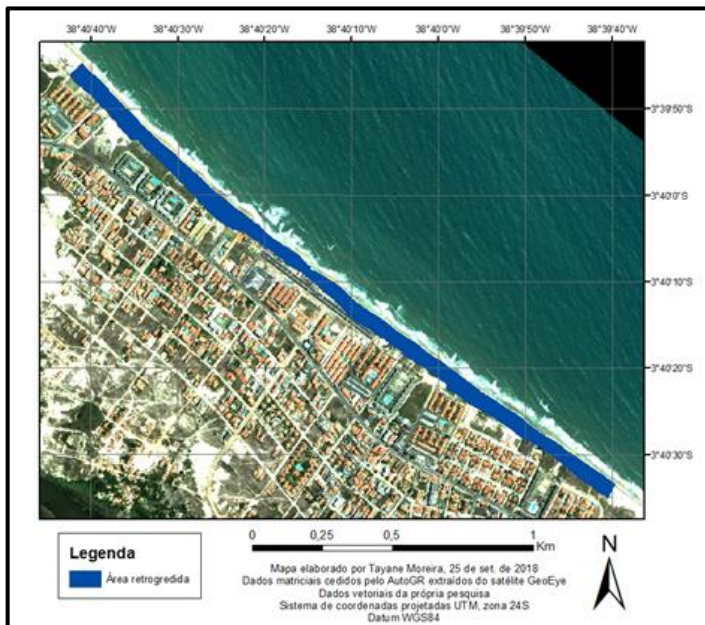


Figura 9: Retrogradação total da linha de costa. Fonte: Própria da pesquisa.

A aplicação do método de detecção de mudança proporcionou uma visão ampla do comportamento da linha de costa da praia do Icaraí. Percebe-se o intenso processo erosivo que vêm degradando a praia nas últimas décadas, colocando as construções e a população que reside nas proximidades da praia em perigo, fato que provocou a necessidade da tomada de uma medida emergencial por parte dos gestores municipais para amenizar os efeitos erosivos das marés

– a criação de um *bag wall*, uma estrutura rígida em forma de degraus que dissipa o efeito das ondas que sobre ela incidem. Embora o *bag wall* tenha impedido o avanço extremo da linha de costa na parte central da praia, a estrutura acaba por ocasionar a difração das marés, fazendo com que a erosão nesses pontos da praia ainda se suceda.

CONCLUSÃO

Pôde-se observar desconhecimento sobre o comportamento das margens costeiras municipais, e sem a devida noção sobre seu prognóstico, torna arriscada a deliberação de alguma atividade a ser realizada dentro da área de zona costeira, visto que em um intervalo pequeno de tempo tal feito pode ser depredado pelas marés. Com isso, verifica-se a importância de ter-se conhecimento do comportamento em mesoescala da linha de costa para que não se torne necessário aplicar medidas emergenciais a fim de desacelerar o processo de erosão costeira incidente sobre a região litorânea. Pois sem a devida análise territorial e perspectiva futura, a determinação de uma possível intervenção a uma região que está sob risco de erosão se torna mais difícil.

Tomando como foco a praia do Icaraí, o descaso com a orla marítima, a pouca preocupação com as ressacas marítimas e a desatenção para com as construções civis cada vez mais próximas a linha de costa, dificultou a visão dos gestores sobre o avanço das marés. Através dos resultados, percebe-se a grande mobilidade que a linha de costa da praia do Icaraí apresentou nos últimos 14 anos, além da vulnerabilidade de sua zona costeira. Nesse sentido, a falta de intervenções amparadas por conhecimento técnico ocasionou impactos negativos, como a difração erosiva proporcionada pelo emprego de *bag walls*, afetando diretamente a população que reside em suas proximidades. Sendo assim, os resultados gerados pela



pesquisa poderão auxiliar os gestores municipais nas condutas que serão estabelecidas para a melhoria no desenvolvimento costeiro não somente da praia do Icarai, como também de todo o litoral do Ceará.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Rio Grande pelo incentivo a pesquisa, concessão da bolsa, disponibilidade de ambiente e ferramentas para concretizá-la e aos professores Miguel Albuquerque e Davis de Paula pelo auxílio na elaboração da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. G. **Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do hermenegildo, RS**. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2013.
- AMORICARAI. Associação de Moradores do Icarai. **Destruição da praia do Icarai, construção do Bag wall**. 2013. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=Vmx9FGM3HMM>>. Acesso em: 16 abr. 2018.
- FAÇANHA, M. C. *et al.* **Erosão Costeira da Praia do Icarai (Caucaia/CE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA - SBGFA, 2946, 2017, Campinas. Anais e resumos. Campinas: SBGFA, 2017.
- KLEIN, A. H. F.; SHORT, A. D. **Chapter 1 – Brazilian Beach Systems: Introduction**. In: SHORT, A.D. & KLEIN, A.H.F. (ORG). *Brazilian Beach Systems*. Springer: Florida, p. 1-36, 2016.
- LEAL, K. B. *et al.* **Variação do limite praia duna nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS no intervalo entre 2003-2015**. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 9, n. 1, p. 25-37, 2018.
- MAIA, G, G, O. **Vulnerabilidade e riscos naturais a eventos de alta energia nas praias semi-urbanas e naturais do litoral de Aquiraz, Ceará**. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2014.
- MUEHE, Dieter. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará*. Ceará, v. 4, n. 7, p. 97-110, 2005.
- PAULA, D. P.; NETO, C. A. F. **Resposta de uma praia arenosa a um evento de ressaca do mar: o caso da Praia do Icarai (Caucaia, Ceará, Brasil)**. *Ateliê geográfico (UFG)*, v. 11, p. 184-204, 2017.
- SMITH, M. J.; CROMLEY, R. G. Measuring Historical Coastal Change using GIS and the Change Polygon Approach. *Transactions in GIS*, n. 16, v. 1, p. 3–15, 2012.