



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

Coastline evolution analysis of beaches sectors between promontories using GIS: a case study of Ponta Grossa and Retiro Grande Beaches in Icapuí, Ceará State

Análisis de la evolución de la línea de costa entre promontorios utilizando SIG: un estudio de caso de las Playas Ponta Grossa y Retiro Grande, Icapuí, Estado de Ceará

Wallason Farias de Souza¹

Nicolly Santos Leite²

Antônio Jeovah de Andrade Meireles³

Edson Vicente da Silva⁴

RESUMO

A zona costeira constitui-se como ambiente de alta variabilidade e dinâmica espacotemporal, sendo a linha de costa o resultado da ação dos fluxos de matéria e energia atuantes nos sistemas ambientais costeiros enquanto síntese morfológica das teleconexões continente, oceano, atmosfera, biosfera e sociedade. O presente trabalho tem por objetivo analisar a evolução espacotemporal (2004-2014) da linha de costa de um trecho do litoral de Icapuí-CE, Nordeste do Brasil, entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, por meio do *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* versão 4.3, que é uma extensão do *ArcGIS 10.1*, elaborada pelo *United States Geological Survey (USGS)*. Através de quatro procedimentos matemáticos e estatísticos fornecidos pelo DSAS, foi possível quantificar as variações máximas espaciais e temporais, a média de variação e a tendência de regressão linear para o período analisado. Dessa forma, foi possível identificar tendências de progradação em Ponta Grossa e de erosão em Retiro Grande e as causas desses processos – setor de praia em progradação devido aporte de sedimentos das dunas móveis e a erosão devido a déficit de sedimentos em praias rochosas e com falésias – e projetar cenários evolutivos através do comportamento dinâmico da zona costeira associada aos efeitos das mudanças climáticas globais.

Palavras-chaves: DSAS; Dinâmica geoambiental da zona costeira; evolução da paisagem.

ABSTRACT

The coastal zone constitutes as high variability areas and dynamic spatiotemporal, the coastline is the result of the flows action of matter and energy in coastal environmental systems. Thus, the coastal zone is the morphological synthesis of the continent teleconnection, ocean, atmosphere, biosphere and society. This study aims to analyze the spatiotemporal evolution (2004-2014) of the coastline of a stretch of the Icapuí-CE coast, northeastern Brazil, between the beaches of Ponta Grossa and Retiro Grande, through the *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* version 4.3, an extension of *ArcGIS 10.1*, prepared by the *United States Geological Survey (USGS)*. Through four mathematical and statistical procedures provided by DSAS, it was

¹Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, wallason.farias@gmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, nicollyleite2@gmail.com

³Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, meireles@ufc.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, cacauceara@gmail.com



possible to quantify the maximum variations spatial and temporal, the median change and the linear regression trend for the period. Thus, it was possible to identify progradation trends in Ponta Grossa and erosion in Retiro Grande and the causes of the processes- beach sector in progradation due contribution to mobile dunes sediment and erosion due to deficit of sediments on rocky beaches and sea cliffs –and to design evolutionary scenarios by the dynamic behavior of the coastal zone associated with the effects of global climate change.

Keywords: DSAS; Geo-environmental dynamics of the coastal zone; evolution of the landscape.

RESUMEN

La zona costera se constituye como un ambiente de alta variabilidad y dinámica espacio temporal, donde la línea de costa es el resultado de la acción de los flujos de materia y energía que actúan en los sistemas ambientales costeros como síntesis morfológica de las conexiones continente, océano, atmósfera, biosfera y sociedad. El presente trabajo tiene por objetivo analizar la evolución espacio-temporal (2004-2014) de la línea de costa en un tramo del litoral de Icapuí-CE, Nordeste de Brasil, entre las playas de Ponta Grossa y Retiro Grande, por medio del Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versão 4.3, que es una extensión del ArcGIS 10.1, elaborada por United States Geological Survey (USGS). A través de cuatro procedimientos matemáticos y estadísticos elaborados por el DSAS, fue posible cuantificar las variaciones máximas espaciales y temporales, la media de variación y la tendencia de regresión lineal para el periodo analizado. De esta forma, fue posible identificar tendencias de progradación en Ponta Grossa y de erosión en Retiro Grande, así como las causas de tales procesos – sector de playa en progradación debido al aporte de sedimentos de las dunas móviles y erosión debido al déficit de sedimentos en playas rocosas y conacantilados, y proyectar escenarios evolutivos a través del comportamiento dinámico de la zona costera asociada a los efectos de los cambios climáticos globales.

Palabras claves: DSAS; dinámica geoambiental de la zona costera; evolución del paisaje.

INTRODUÇÃO

A zona costeira corresponde a um conjunto de componentes morfológicos originados através da dinâmica dos fluxos de matéria e energia representados regionalmente pelas teleconexões continente, oceano, atmosfera, biosfera e sociedade, caracterizados espacial e temporalmente pelas consequências dos efeitos estruturais (neotectônica) e climáticos (eustasia) (SHACKLETON, 1987; BROECKER e DENTON, 1990; FAIRBRIDGE, 1982). Em adição, a planície costeira concentra parte da população mundial, o que leva a pressões sobre os recursos naturais. Os ecossistemas costeiros e marinhos continuam tendo sua extensão reduzida, o que ameaça serviços ecossistêmicos altamente valiosos e imprescindíveis, como, por exemplo, a absorção de dióxido de carbono da atmosfera, que cumpre papel relevantíssimo na mitigação das mudanças climáticas globais (PRATES, *et al.*, 2010; CDB, 2010).

Esses ambientes caracterizam-se por sua natural instabilidade, sendo vulneráveis às formas de uso e ocupação humana e necessitam do desenvolvimento de estratégias integradas e multidisciplinares, e da implantação de processos de conservação fundamentados na qualificação e quantificação dos agentes de dinâmica costeira para a caracterização da capacidade de suporte dos componentes geoambientais diante das pressões de uso e ocupação (TURRA *et al.*, 2013; MEIRELES, *et al.*, 2010).

O Município de Icapuí possui uma linha de costa com aproximadamente 45 quilômetros de extensão e representa um dos mais complexos sistemas ambientais da costa cearense, com indicadores de processos

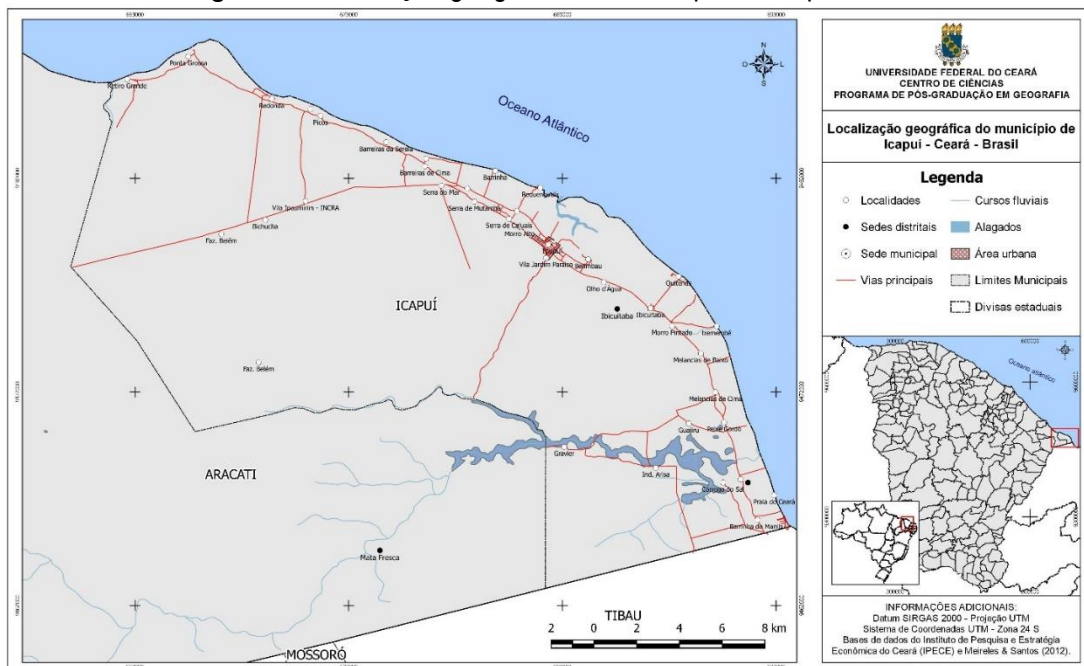
e morfologias derivadas que evidenciaram as mudanças no nível relativo do mar e as oscilações climáticas no Quaternário (MEIRELES, 2012).

Foram utilizados métodos indiretos e a constatação dos processos geoambientais nas atividades de campo, para determinar a evolução da linha de costa do Município de Icapuí - Ceará, Nordeste do Brasil. A Análise Digital do Sistema Litorâneo – Digital Shoreline Analysis System (DSAS), versão 4.3 do software ArcGIS 10.1 (United States Geological Survey (USGS) – foi a principal ferramenta para determinar qualitativa e quantitativa o comportamento morfológico da linha de costa.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDOS

O Município de Icapuí está situado no extremo leste do litoral cearense, Nordeste do Brasil, tendo como limites ao norte e ao leste o oceano Atlântico, ao leste e ao sul o Município de Tibau no Rio Grande do Norte, ao sul e ao oeste o Município de Aracati, localizando-se entre as latitudes $4^{\circ}37'40''\text{S}$ e $4^{\circ}51'18''\text{S}$ e longitudes $37^{\circ}15'30''\text{W}$ e $37^{\circ}33'44''\text{W}$ (Figura 1).

Figura 1. Localização geográfica do município de Icapuí – CE.



Fonte: Souza (2016).

A criação deste Município se deu em 11 de janeiro de 1985, pela Lei de Criação 11.003, tendo como origem o Município de Aracati, ou seja, Icapuí é um município relativamente novo com apenas 31 anos de emancipação política (MEIRELES & SANTOS, 2012; IPECE, 2014).

Icapuí está inserido na Microrregião do Litoral de Aracati, Mesorregião do Jaguaribe e Macrorregião De Planejamento do Litoral Leste/Jaguaribe, distante por via terrestre aproximadamente 200 km de Fortaleza, com acesso pela CE-040 e BR-304, tendo uma área de 428,69 km² e uma população de 18.392 habitantes (MEIRELES & SANTOS, 2012).

Considerou-se a dinâmica evolutiva da linha de costa a sotamar do promontório de Ponta Grossa, no extremo oeste do município de Icapuí, em um trecho que se estende desde a praia de Ponta Grossa até a praia de Retiro Grande, no limite com o município de Aracati, totalizando 5 km de linha de costa, considerando o período entre 2004 e 2014 (Figura 2).

Figura 2. Imagem de satélite (*RapidEye*) destacando o trecho entre o promontório de Ponta Grossa e a Praia de Retiro Grande.



Fonte: Souza (2016).

METODOLOGIA: O DSAS NA ANÁLISE EVOLUTIVA DA LINHA DE COSTA

Entende-se que, com o foco em metodologias e para os conceitos e as técnicas relacionadas a uma abordagem sistêmica, foi necessário considerar o conjunto de fatores naturais e induzidos pela ação humana que atuaram na dinâmica costeira de Icapuí. Nesse sentido, Ross (2006) sugere o binômio entre a base teórico-metodológica sistêmica e as tecnologias da informação no planejamento ambiental em Geografia.

Bird (2008) define a linha de costa, ou *coastline*, como a fronteira da terra no limite das marés altas normais, muitas vezes marcado pela ocorrência de vegetação ou a base de falésias, enquanto o termo *shoreline*, ou linha do litoral, é o limite móvel de ocorrência de água no perfil praiado durante a maré baixa e a

maré alta. Dessa forma, as linhas do litoral são modificadas diariamente pelo movimento das marés, enquanto a linha de costa é afetada apenas em eventos excepcionais.

A linha de costa pode ser facilmente identificada pela visão, mediante a diferença de umidade e tonalidade dos sedimentos. Esta constitui uma estratégia frequentemente adotada nos estudos de planícies costeiras arenosas, com suporte de imagens de satélites.

O DSAS é uma aplicação de *software* disponível gratuitamente que funciona acoplado ao *ArcGIS*, para o cálculo estatístico das variações temporais de um banco de dados vetoriais da linha de costa. Nesta aplicação, os vetores de linha de costa obtidos por meio dos produtos de sensores remotos (conjunto multitemporal de imagens de satélite) foram setorizados (por meio dos transectos transversais à linha de costa) e, dessa forma, foram comparados e analisados por intermédio de quatro dos seis procedimentos matemáticos e estatísticos disponíveis no DSAS (i) *Shoreline Change Envelope (SCE)*; ii) *Net Shoreline Movement (NSM)*; iii) *End Point Rate (EPR)*; iv) *Linear Regression Rate (LRR)*; v) *Weighted Linear Regression (WLR)* e vi) *Least Median of Squares (LMS)*, tendo como referência uma linha de base para a determinação dos dados numéricos relacionados às feições lineares e que permitiram mensurar a evolução da linha de costa em determinado período (HIMMELSTOSS, 2009). Para a análise integrada, foram produzidos mapas, gráficos e tabelas das áreas de progradação e erosão costeira.

Esta metodologia foi utilizada em variadas regiões costeiras no mundo, como em Genzet *et al.* (2007) nos Estados Unidos; Mageswaran *et al.* (2015), Kaliraj, Chandrasekar e Magesh (2013), Mahapatra, Ratheesh e Rajawat (2014), Sheik e Chandrasekar (2011) na Índia; Kabuth, Kroon e Peterson (2014) na Dinamarca; Pérez-Alberti *et al.* (2013) na Espanha, Aiello (2013) na Itália; e também estudos realizados no Brasil como os de Farias e Maia (2010), Farias (2008), Moura (2012), Marino e Freire (2013). Em síntese, essas pesquisas determinaram a evolução da linha de costa desde os aspectos relacionados com as áreas mais afetadas pela erosão costeira, quantificando as variações em um determinado período e discutindo as causas e efeitos, além de apontar direcionamentos para o gerenciamento da zona costeira.

Visando analisar o comportamento da linha de costa de Icapuí, optou-se pelo uso do *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, extensão que amplia as funcionalidades do software *ArcGIS 10.1* e permite calcular as variações da linha de costa em um dado período através de procedimentos matemáticos e estatísticos em ambiente SIG. O DSAS necessita de três arquivos vetoriais lineares para gerar os cálculos: i) uma linha de base, que deve ser paralela à linha de costa (*onshore* ou *offshore*), em uma distância que possibilite o cálculo, e, ii) variados vetores de linha de costa de variados anos, contendo um atributo de data vinculado e um de incerteza (em metros) derivado da resolução espacial da imagem, e iii) vários transectos, ou seja, linhas retas transversais à linha de costa, geradas automaticamente pelo DSAS com espaçamento

predefinido pelo usuário que saem da linha de base, cruzam os vetores de linha de costa e servem para calcular as variações no tempo (HIMMELSTOSS, 2009).

Assim, determinou-se a linha de base por meio de vetorização manual, tomando como referência a linha de costa atual e, para o interior do continente, a linha de base foi determinada tendo como indicador morfológico o tabuleiro Pré-litorâneo (linha de base *onshore*). Os vetores de linha de costa obtidos por meio de produtos de sensores remotos (*QuickBird*, *Worldview II*, *RapidEye* e imagens do *Google Earth* georreferenciadas no *Datum* SIRGAS 2000 e sistema de coordenadas UTM), foram comparados e analisados por meio do *DSAS*. Com os referidos procedimentos matemáticos e estatísticos, foi possível originar uma matriz numérica (algoritmos para determinar o avanço e o recuo da linha de costa com relação à linha de base), representativa das feições lineares e, dessa forma, mensurar o comportamento morfológico linear durante no período de 10 anos (2004-2014).

O critério adotado para a delimitação da linha de costa através da análise das imagens de satélite, foi o limite entre os sedimentos submetidos à ação das ondas e das marés (textura da imagem associada a áreas úmidas representadas pela zona de estirâncio) e os materiais pertencentes à zona de pós-praia (textura relacionada a ambiente com deficiência de humidade, quando comparada com os materiais em deriva litorânea e facilmente identificada através dos sensores remotos).

Para a sistematização do banco de dados optou-se por representar os resultados advindos da análise de quatro dos seis tipos de cálculos fornecidos pelo *DSAS*: Taxa de Regressão Linear ou *Linear Regression Rate* (LRR), Taxa do Ponto Final ou *End Point Rate* (EPR), Distância Máxima de Mudança do Litoral ou *Shoreline Change Envelope* (SCE) e Movimento Líquido da Linha de Costa ou *Net Shoreline Movement* (NSM). Ressalta-se que a qualidade dos dados de entrada (imagens com resolução espacial de no máximo 5 metros) possibilitou respostas, com satisfatória precisão, às tendências de evolução da linha de costa de Icapuí.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trecho em análise corresponde a uma faixa de praia sob a influência do promontório de Ponta Grossa, tendo a sua dinâmica e balanço sedimentar controlado por essa feição morfológica (Figura 2).

Os promontórios associados aos campos de dunas ao longo do litoral nordestino correspondem à área de *bypass* de sedimentos para a zona costeira, assim como os estuários, quando as dunas móveis alcançam suas margens (MEIRELES et al., 2006). As zonas de *bypass* foram caracterizadas por Meireles (2012) como sendo unidades morfológicas responsáveis pela dispersão de sedimentos, alimentadoras de material arenoso para o sistema praiado e reguladoras dos fluxos de energia nas dunas móveis, flechas litorâneas, bancos de areia e terraços marinhos associados aos promontórios e desembocaduras dos rios.



Conforme Claudino-Sales & Carvalho (2014) “a dinâmica associada com o bypass litorâneo, especialmente em costas de deposição, tem sido um tema de raros estudos”.

No caso das praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, verificou-se em campo o transpasse do campo de dunas sobre o promontório e o retorno dos sedimentos para a faixa de praia (sentido preferencial dos ventos de leste para oeste), assim como a deposição de um considerável volume de sedimentos à sotamar do promontório, o que possibilitou constatar um processo de progradação por meio da deposição em barras arenosas, tendo como fonte as areias disponibilizadas pelas dunas que alcançaram a faixa de praia.

Por meio da análise em SIG através do DSAS foi possível mensurar as variações da linha de costa do trecho entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande em um total de 9 transectos espaçados em 500 metros (trecho com aproximadamente 5 km de extensão).

O quadro 1 sintetiza os resultados dos procedimentos matemáticos e estatísticos gerados pelo DSAS apresentados em formatação condicional em cores, variando de forma crescente do amarelo ao verde, no caso do SCE e do R², e do amarelo ao vermelho (quando negativo) e do amarelo ao verde (quando positivo) nos procedimentos NSM, EPR e LRR.

Quadro 1. Síntese das variações da linha de costa em metros obtidas por cada procedimento do DSAS para o trecho entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, Icapuí - CE.

Praias	Transecto	SCE	NSM	EPR	LRR	R ²
Retiro Grande	1	32,17	-19,72	-2,03	-2,22	45%
	2	19,18	-19,18	-1,97	-2	81%
	3	37,21	-33,37	-3,44	-3,84	80%
	4	19,82	-11,38	-1,17	-1,17	29%
Ponta Grossa	5	241,73	241,73	24,88	18,64	47%
	6	176,38	176,38	18,16	19,07	77%
	7	147,54	131,56	13,54	12,56	60%
	8	133,74	133,74	13,77	13,24	82%
	9	197,34	157,67	16,23	18,7	64%

Fonte: Souza (2016).

Por meio dos resultados dos procedimentos SCE, NSM, EPR e LRR foi possível identificar a ocorrência de dois processos distintos. O primeiro erosivo é referente à praia de Retiro Grande. Foi caracterizado por perdas de sedimentos e recuo da linha de costa. O segundo, deposicional, notadamente referente a um processo deposicional dominante e à progradação da linha de costa diante do trecho representado pela praia de Ponta Grossa.

Os resultados de SCE apontaram a *variação espacial máxima* (sempre positiva) nos dados de linha de costa inseridos, ou seja, quando a linha de costa esteve mais próxima e quando esteve mais distante da

linha de base, possibilitando a visualização da variação máxima no período analisado de acordo com os dados inseridos. Os resultados evidenciaram variações entre 19 e 38 metros para a praia de Retiro Grande e entre 133 e 242 metros na praia de Ponta Grossa. Valores elevados para os dois trechos considerando o recorte temporal de dez anos.

O procedimento NSM indicou a variação da linha de costa nos extremos temporais, ou seja, considerou as linhas de costa mais recente e mais antiga (2004-2014). Da mesma forma, percebeu-se a distinção de dois processos: o primeiro erosivo observado em Retiro Grande com recuo da linha de costa entre 10 e 35 metros; enquanto o segundo trecho, correspondente à praia de Ponta Grossa, observou-se elevada acreção de sedimentos nos dez anos da análise, com valores de progradação entre 130 e 245 metros.

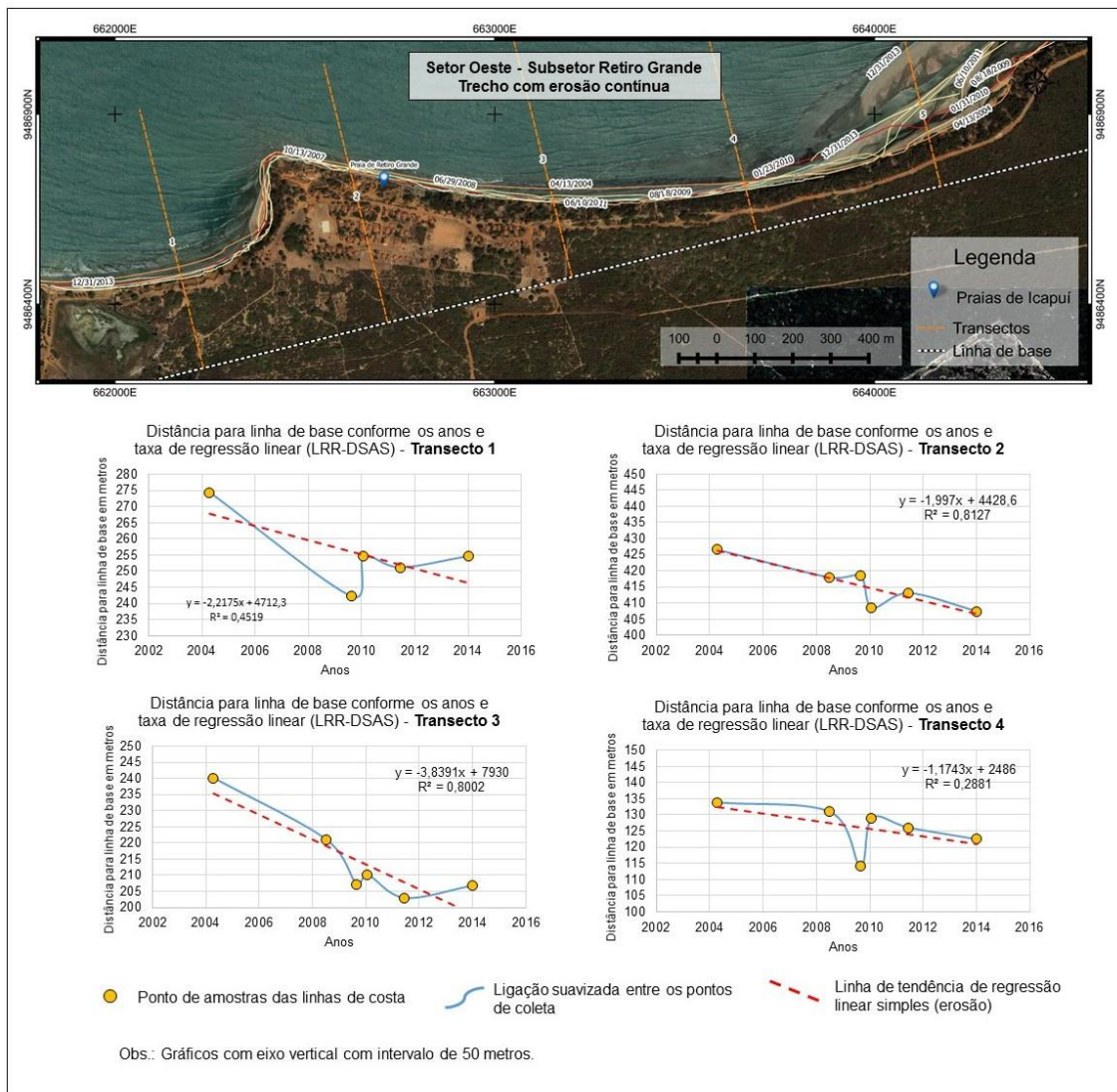
O método EPR, média de variação anual da linha de costa para o período da análise), levando em consideração a distância (metros) entre as linhas de costa mais antiga e mais recente (NSM), dividida pelo período da análise (dez anos), resultou em um valor de metros por ano associado aos atributos *negativo* ou *positivo*. Assim, determinou-se que as maiores variações estão nos transectos 5 ao 9, com variações positivas (progradação) entre 13 e 25 metros, enquanto nos transectos 1 ao 4 ocorreram variações anuais negativas (erosão) da ordem de 1 a 3,5 metros por ano.

O LRR consiste em uma taxa de regressão linear que considera todos os dados inseridos e gera uma variação em metros por ano, sendo assim um dado mais preciso sobre o comportamento espaçotemporal da linha de costa. Algumas vezes, o valor de LRR pode ser semelhante ao EPR. Com este método também se gera uma taxa complementar (R^2) que indica o quanto a linha de tendência gerada está de acordo com os dados inseridos. Em síntese, quando próxima a 0% significa que não existe uma tendência evolutiva bem definida e quando próxima a 100% significa que há uma tendência bem definida.

No recorte espacial proposto, os valores de LRR foram negativos no primeiro trecho, indicando erosão anual e cumulativa entre 1 e 4 metros, enquanto no segundo trecho, referente à praia de Ponta Grossa, os valores foram positivos, com nítida indicação de acréscimo de sedimentos entre 12 e 20 metros anuais. Em apenas três transectos (1, 4 e 5) o valor R^2 não foi igual ou superior a 60%, indicando a predominância de processos erosivos na praia de Retiro Grande e deposicional (progradação da linha de costa) na praia de Ponta Grossa.

A figura 3 apresenta a evolução da faixa de praia em Retiro Grande, onde foi possível observar por meio dos gráficos uma linha de tendência inclinada em direção à linha de base (descendente), registrando predomínio erosivo entre os anos de 2004 e 2014.

Figura 3. Carta-imagem referentes aos transectos 1 ao 4, na praia de Retiro Grande, em Icapuí - Ceará.



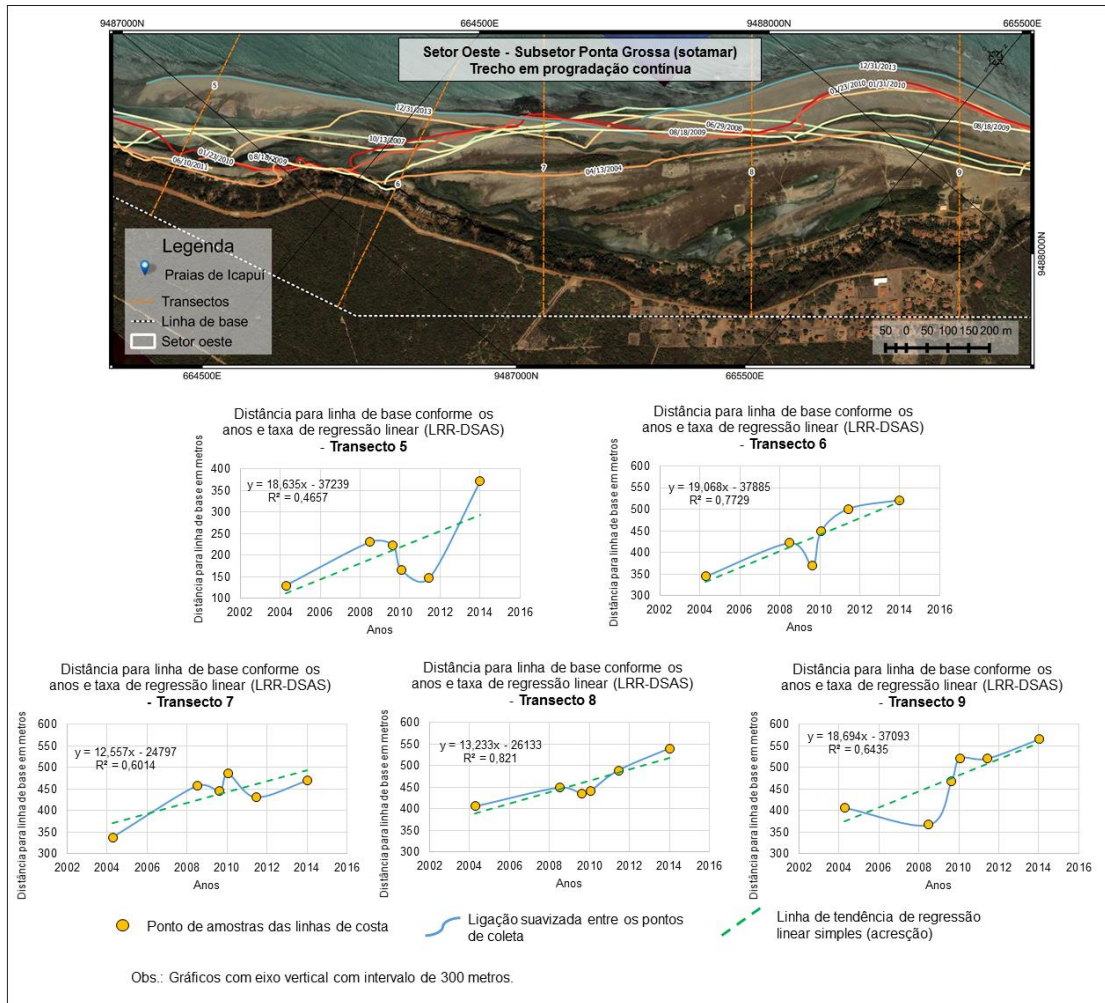
Fonte: Souza (2016).

Foi possível caracterizar a predominância de processos erosivos entre os anos observados e com destaque para o ano de 2009 (Figura 3). Nesse período, em todos os transectos predominou um comportamento erosivo mais acentuado. Tal processo, possivelmente, foi relacionado ao volume pluviométrico acima da média histórica anual (FUNCEME, 2015), provocando déficit de sedimentos provenientes das dunas móveis que acessavam a linha de costa à montante da deriva litorânea (justamente onde encontra-se a zona de *bypass* de areia no setor da praia de Ponta Grossa).

O trecho representado pelos transectos 1 ao 4, foi classificado como trecho em erosão contínua, ao exibir predomínio erosivo no recorte temporal e possuir linha de tendência descendente muito inclinada no gráfico, o que foi comprovado pelo resultado do R^2 que está próximo a 1 (sugerindo que a linha de tendência se adequa bem aos dados, exceto no transecto 4, que indicou um ponto anômalo referente ao ano de 2009).

A figura 4, referente ao comportamento espaçotemporal da linha de costa na praia de Ponta Grossa, apresentou uma tendência inversa ao observado em Retiro Grande. Constatou-se, com as linhas de tendência ascendentes, os processos progracionais que ocorreram neste trecho entre os anos de 2004 e 2014. O processo contínuo de aporte de sedimentos foi diretamente associado ao campo de dunas que acessa a faixa de praia, proporcionando sedimentos para o conjunto de barras arenosas.

Figura 4. Carta-imagem referentes aos transectos 5 ao 9, na praia de Ponta Grossa, em Icapuí - Ceará.



Fonte: Souza (2016).

Os efeitos socioambientais das variações da linha de costa e as suas possíveis causas

Com a identificação das tendências erosivas e deposicionais ao longo da linha de costa e no trecho entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, foi possível avaliar os efeitos socioambientais. Os mais perceptivos foram referentes aos impactos causados pela erosão costeira. Todavia, a deposição também propiciou a origem de barras arenosas com elevada biodiversidade, além de usos específicos associados às atividades de pesca, mariscagem (canais de maré entre as barras arenosas) e turismo ecológico.

A dinâmica litorânea evidenciada ao longo do trecho da praia de Retiro Grande, entre os transectos 1 e 4, provocou a remoção do depósito de areia entre o estirâncio e as falésias através da deriva litorânea e, à continuação, instala-se uma conseqüente erosão basal registrada pela queda de blocos e pelos movimentos de massa. Possivelmente, o comportamento morfológico registrado, não atuou como fonte expressiva de sedimentos para a deriva litorânea, portanto, um comportamento espaçotemporal tendencialmente erosivo.

A comunidade de pescadores de Retiro Grande está localizada no topo das falésias e no tabuleiro, com algumas residências nas escarpas e nos patamares intermediários. A erosão costeira associada à erosão pluvial das falésias tem colocado algumas dessas residências em situações de risco, sendo algumas delas já abandonadas (Figura 5A). Em tal situação, os moradores buscaram estratégias que possibilitassem conter ou amenizar os efeitos desses processos nas encostas (plantio de árvores Figura 5B) muros de enrocamento para minimizar o efeito das ondas e marés (Figura 5C). Outra estratégia verificada foi a inserção de estacas de madeira e galhos de árvore com a mesma intenção. Essas duas estratégias foram realizadas por moradores locais e veranistas no intento de proteger suas residências. Outra estrutura de maior porte está localizada na fazenda Retiro Grande, limite de Icapuí com Aracati, onde o proprietário construiu um muro com blocos de rocha posicionados de modo a proteger sua propriedade (FIGURA 1D).

Figura 1. Mosaico de imagens dos efeitos da erosão costeira na praia de Retiro Grande em Icapuí: **A)** casa de veraneio abandonada em patamar de falésia e sinais de erosão; **B)** marcas de erosão pluvial em falésia; **C)** muro de pedras para controlar a erosão costeira; e **D)** fazenda Retiro Grande e estruturas de controle da erosão.



Fonte: Souza (2016).

No caso da progradação constatada em Ponta Grossa, a sotamar do promontório, foi caracterizada pela presença das barras arenosas associadas a pequenos canais com ressurgência de água no sopé das falésias. Em algumas das barras arenosas observou-se vegetação de mangue, demonstrando relações morfológicas e hidrodinâmicas vinculadas à deriva litorânea e à ação das ondas e correntes marinhas (Figura 6).

Figura 6. Trecho em progradação a sotamar do promontório de Ponta Grossa.



Fonte: Souza (2015).

Considerou-se como possíveis motivações para as mudanças extremas da linha de costa os fatores naturais e os motivados pela ação humana. Esses fatores podem ocorrer em várias escalas espaciais (local, regional e global) e temporais.

Como processo natural, consideram-se aqueles que ação humana não influenciam de forma significativa, como o comportamento climático normal, a fisiografia da costa, o transporte natural de sedimentos por ação eólica, marinha ou fluvial, a ação dos ventos, ondas e marés, entre outros.

Os fatores motivados pela ação humana são aqueles motivados pelas interferências por meio das formas de uso e ocupação do espaço: por exemplo, a interferência no transporte de sedimentos por barragens nos rios ou ocupação do berma e das dunas, extração de areia, construção de portos e outros. Percebeu-se que os promontórios estão diretamente relacionados à progradação da linha de costa a sotamar, como se pode observar em Ponta Grossa, onde o transpasse de sedimentos do campo de dunas sobre o promontório, o retorno à deriva litorânea e a baixa energia de ondas propiciaram a deposição de uma larga faixa de areia que se estende por mais de 3 km desde o transpasse, em uma área correspondente ao subsetor Ponta Grossa (sotamar),

Relacionada a essa deposição, também se percebeu uma erosão a sotamar dessa área de progradação, possivelmente associada ao déficit de sedimentos propiciado pela deposição a barlar. Portanto, é possível que os promontórios e o transpasse de sedimentos tenham ocasionado progradação da linha de costa imediatamente a sotamar e erosão em trechos a sotamar mais distantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que as tecnologias da geoinformação sejam um importante caminho metodológico para a análise pretérita da linha de costa, como foi realizado neste trabalho, pois essas tecnologias (sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas) permitem acompanhar no tempo e no espaço o comportamento dinâmico dessa feição litorânea com um custo econômico relativamente baixo.

Por meio dessa metodologia, foi possível evidenciar os trechos com maior variação da linha de costa, por meio dos métodos matemáticos e estatísticos NSM, SCE, EPR e LRR, destacando aqueles afetados por erosão costeira (avanço do mar), quantificando os recuos (erosão) e avanços (progradação).

Avalia-se que a erosão observada em Retiro Grande deverá ser reduzida nos próximos ano por dois fatores naturais. O primeiro decorre da resistência das falésias ao ataque das ondas e o segundo é consequente da migração dos sedimentos dos bancos arenosos do subsetor Ponta Grossa (sotamar), que tem crescido ao longo dos anos na direção de Retiro Grande. Além disso, os impactos associados à ocupação da linha de praia, alterando a deriva litorânea nesse trecho, devem ser menores, pois as intervenções estão predominantemente no tabuleiro.

A linha de costa associada as barras arenosas a sotamar do promontório deverá manter o balanço sedimentar e até mesmo continuar em acreção devido ao elevado volume de sedimentos do campo de dunas sobre o promontório (*bypass*) que aporta esse trecho do litoral.

Deve-se pensar, ainda, que, além dos fatores naturais e humanos locais e regionais, existem os fatores humanos globais que devem influenciar mais ativamente o comportamento espaçotemporal da linha de costa nas próximas duas décadas e até o fim do século: a elevação do nível médio do mar decorrente da mudança climática provocada pelo aquecimento global, conforme as informações do quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014).

Possivelmente, as análises futuras utilizando essa metodologia obterão resultados numéricos de evolução mais precisos e significativos, pois o avanço das tecnologias da geoinformação, principalmente aquelas relacionadas aos produtos de sensores remotos, disponibiliza produtos cada vez mais precisos (altas resoluções espacial e temporal de sensores remotos) e têm se popularizado com diferentes programas de imageamento, além do avanço e popularização dos Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) ou *drones*. Desse modo, os possíveis erros e inconsistências por meio dos dados inseridos no DSAS, como os de ordem climatológica, resolução espacial e temporal das imagens, e outros, serão consideravelmente reduzidos.

Compreende-se que a aplicação dessa metodologia no litoral do Município de Icapuí poderá servir de base para estudos mais aprofundados sobre a dinâmica geoambiental da zona costeira do Município, assim como auxiliar no planejamento e gestão da zona costeira por parte do poder público em variadas escalas de

trabalho. Este trabalho pode também motivar a aplicação do DSAS em outras áreas litorâneas no Brasil e no mundo pela fácil adequação metodológica e a crescente disponibilidade de dados.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio de pesquisa de mestrado intitulada “Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaçotemporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará – Brasil”, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará.

REFERÊNCIAS

- BIRD, E. **Coastal Geomorphology: An introduction**. England: **British Library**, 2008. Disponível em: <<http://baa.univpripalembang.ac.id/perpuskip/Perpustakaan/Geography/Geografi%20Fisik/Geomorfologi%20Pantai.pdf>>. Acesso em: 16 jun 2015.
- CLAUDINO-SALES, V. C.; PEULVAST, J. P. Geomorfologia da zona costeira do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. In: SILVA, J. B.; DANTAS, E. W. C.; ZANELLA, M. E.; MEIRELES, A.J.A. (Org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006, p. 349-366.
- 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**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- FARIAS, G. G. F.; MAIA, L. P. Uso de técnicas de Geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Integrada da Zona Costeira**, v. 10, n. 4, p. 521-544, 2010. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-373_Marino.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.
- GENZ, A. S.; FLETCHER, C.H.; DUNN, R. A.; FRAZER, L. N.; ROONEY, J. J. The Predictive Accuracy of Shoreline Change Rate Methods. **Journal of Coastal Research**, v.23, n.1, p.87-105, 2007. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-373_Marino.pdf>. Acesso em: 2 set. 2014.
- HIMMELSTOSS, E.A. 2009. “DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide”. In: THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., AND ERGUL, AYHAN. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0** — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey, 2009. *updated for version 4.3. Disponível em: <<http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/images/pdf/DSASv4.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014: synthesis report**. Geneva, Switzerland, 2014.
- IPECE. Perfil básico municipal 2014. **Icapuí**. Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2014/Icapui.pdf>. Acesso em: 13 jul 2015.
- KABUTH, A. K.; KROON A.; PEDERSEN, J. B. T. Multidecadal Shoreline Changes in Denmark. **Journal of Coastal Research**, volume 30, No 4, p. 714-728, 2014. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/pdf/10.2112/JCOASTRES-D-13-00139.1>>. Acesso em 30 ago 2015.



KALIRAJ, S.; CHANDRASEKAR, N.; MAGESH, N. S. Impacts of wave energy and littoral currents on shoreline erosion/ accretion along the south-west coast of Kanyakumari, Tamil Nadu using DSAS and geospatial technology. **Environmental earth sciences**, vol: 71 iss: 10 pg: 4523 - 4542, 2014. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/S_Kaliraj/publication/257961861_Impacts_of_wave_energy_and_littoral_currents_on_shoreline_erosionaccretion_along_the_southwest_coast_of_Kanyakumari_Tamil_Nadu_using_DSAS_and_geospatial_technology/links/00b4952b2033a04f03000000.pdf>. Acesso em 30 mai 2015.

MAGESWARAN T.; RAM MOHAN V., CHENTHAMIL SELVAN S.; ARUMUGAM T. Assessment of shoreline changes along Nagapattinam coast using geospatial techniques. **International Journal of Geomatics and Geosciences**. Volume 5, No 4. Disponível em: <http://www.ipublishing.co.in/jggsarticles/volfive/EIJGGS5048.pdf>. Acesso em: 28 set. 2015.

MAHAPATRA, M.; RATHEESH, R.; RAJAWAT, A. S. Shoreline Change Analysis along the Coast of South Gujarat, India, Using Digital Shoreline Analysis System. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, Volume 42, Issue 4, pp 869-876, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12524-013-0334-8>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

MARINO, M. T. R. D.; FREIRE, G. S. S. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro... **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v.13, n.1, p.113-129, 2013. Disponível em: < http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-373_Marino.pdf >. Acesso em: 2 mar. 2014.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M.G.C.; GORAYEB, A.; THIERS, P.R.L. Integração dos indicadores geoambientais de flutuação do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Revista Mercator**, Fortaleza, v.4, n.8, p.109-134, 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1193/1/INTEGRACAO%20DOS%20INDICADORES%20GEOAMBIENTAIS%20DE.pdf>>. Acesso em: 12 jun 2015.

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. **Atlas de Icapuí**. Fortaleza: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012.

MEIRELES, A. J. A.; VICENTE DA SILVA, E.; THIERS, P.R.L. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da Zona Costeira. **Geousp**, v. 20, p. 101-119, 2006.

MOURA, M. R. **Dinâmica costeira e vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará**. 210 f. Tese (doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MUEHE, D. Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade. In: GUERRA, A. J. T; JORGE, M. C. O. (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

PÉREZ-ALBERTI, A.; PIRES, A.; FREITAS, L.; CHAMINÉ, H. Shoreline change mapping along the coast of Galicia, Spain. Proceedings of the ICE - **Maritime Engineering**, Issue 3,01 September 2013, p. 125 –144, 2013. Disponível em: http://www.researchgate.net/profile/Augusto_PerezAlberti/publication/256461166_Shoreline_change_mapping_along_the_coast_of_Galicia_Spain/links/00b49522f59eb8e142000000.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2015.

PRATES, A.P., GONÇALVES, M.A.; ROSA, M.R. Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil. Secretaria de Biodiversidade e Florestas/Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. – Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010. 148 p.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SECRETARIADO da Convenção de Diversidade Biológica (CDB). Panorama da Biodiversidade Global 3. Brasília: MMA/SBF, 2010. 94 p.

SHEIK, M.; CHANDRASEKAR. A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. **Geo-spatial Information Science**, December 2011, Volume 14, Issue 4, pp 282-293, 2011. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11806-011-0551-7>>. Acesso em: 28 mai 2015.



TURRA, A. Global environmental changes: setting priorities for Latin American coastal habitats. **Global Change Biology**, v. 19, 2013, 1965–1969p.



Volume Especial da Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, em parceria com o V Congresso Brasileiro de Educação Ambiental Aplicada à Gestão Territorial, v. 18, n. 2, p. 20-35, Set. 2016, <http://uvanet.br/rcgs>. ISSN 2316-8056 © 1999. Universidade Estadual Vale do Acaraú. Todos os direitos reservados.