

Padrões sedimentares de estratigrafia rasa em uma planície lagunar, costa oeste do Ceará, Brasil

Sedimentary patterns of shallow stratigraphy on a lagoon plain, west coast of Ceará, Brazil

Kevin Samuel Felix Lima^{ad}, Lidriana de Souza Pinheiro^{be}, Débora Melo Mendonça^{af}, Rhaiane Rodrigues da Silva^{ag}, Antonio Rodrigues Ximenes Neto^{ch}

^aLaboratório de Oceanografia Geológica - LOG, Instituto de Ciências do Mar - Labomar, Universidade Federal do Ceará, ^bInstituto de Ciências do Mar - Labomar, Universidade Federal do Ceará, DiSTeBA- Departamento de Biologia, Ciências Ambientais e Tecnologia / Universidade de Salento, ^cLaboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica - LGCO, Universidade Estadual do Ceará

^dksamuelf@gmail.com, ^elidriana@ufc.br, ^fdeboramelo@alu.ufc.br, ^grhaianerodrigues09@gmail.com, ^hantonio.lgco@gmail.com

Resumo

Neste estudo foi realizada uma análise dos padrões sedimentares de estratigrafia rasa em uma planície lagunar próximo as localidades de Porto dos Barcos e Guajiru no município de Itarema, litoral oeste do Estado do Ceará. Nesta região destaca-se a presença de manguezal e de barreiras costeiras (*spit* e ilhas). Foram coletados dois testemunhos sedimentares (T1 e T2) por meio de tubos de 50 mm de diâmetro e 1 metro de comprimento. Posteriormente foi realizada a identificação macroscópica das fácies sedimentares dos testemunhos de acordo com a coloração, granulometria e presença de fragmentos de natureza orgânica. Em laboratório foram feitas análise granulométrica e quantificação dos teores de carbonato de cálcio e matéria orgânica. A partir da integração dos dados, foram elaborados perfis colunares dos testemunhos. A coloração identificada nos testemunhos variou entre tons de preto, cinza e verde, além de alguns tons de branco e azul no testemunho T2. Verificou-se a presença de fragmentos vegetais ao longo de todo o comprimento dos testemunhos, e foram observados fragmentos de conchas e raízes em algumas frações dos testemunhos. A granulometria dos testemunhos mostrou um predomínio da fração areia em relação a outras classes granulométricas, apresentando algumas fácies com significativa presença de fração lama, principalmente no testemunho T2. O teor de carbonato de cálcio nos sedimentos variou de 0,90% a 26,84% e de matéria orgânica entre 1,06% e 13,2%. Conclui-se que a granulometria apresentou um padrão bimodal de fácies sedimentares arenosas e areno-lamosas. O carbonato de cálcio apresentou maior associação com fragmentos de conchas e com granulometria mais grossa no testemunho T2, já o testemunho T1 não houve correlação entre carbonato de cálcio e granulometria. A matéria orgânica apresentou uma relação maior com sedimentos de granulometria mais fina.

Palavras-chave: Ambiente deposicional; estuário; Itarema; sedimentação; testemunho sedimentar.

Abstract

In this study, an analysis of the sedimentary patterns of shallow stratigraphy was carried out in a lagoon plain close to the locations of Porto dos Barcos and Guajiru in the municipality of Itarema, west coast of the Ceará State. In this region, the presence of mangroves and coastal barriers (*spit* and islands) stands out. Two sedimentary cores (T1 and T2) were collected using tubes of 50 mm in diameter and 1 meter in length. Subsequently, macroscopic identification of the sedimentary facies of the cores was carried out according to color, grain size, and presence of organic fragments. In the laboratory, granulometric analysis and quantification of calcium carbonate and organic matter contents were performed. From the integration of the data, columnar profiles of the cores were elaborated. The coloration identified in the cores varied between shades of black, gray, and green, in addition to some shades of white and blue in the core T2. The presence of vegetal fragments was verified along the entire length of the cores, and fragments of shells and roots were observed in some fractions of the cores. The grain size of the cores showed a predominance of the sand fraction to about other granulometric classes, presenting some facies with a significant presence of mud fraction, mainly in the T2 core. The content of calcium carbonate in the sediments varied from 0.90% to 26.84% and of organic matter between 1.06% and 13.2%. It is concluded that the sedimentary dynamics in the T2 area are greater than in the T1 area and the granulometry showed a bimodal pattern of sandy and sandy-muddy sedimentary facies. Calcium carbonate was more associated with shell fragments and with coarser grain size in the core T2, while the core T1 showed no correlation between calcium carbonate and grain size. Organic matter showed a meaningful relationship with finer particle size sediments.

Keywords: Depositional environments; estuary; Itarema; sedimentation; sedimentary core.

1. Introdução

Os estuários ocupam, predominantemente, as áreas da costa menos expostas à hidrodinâmica marinha. Dessa forma, a atividade das ondas é geralmente bastante reduzida, permitindo o desenvolvimento de portos, instalações recreativas ou iniciativas apropriadas de aquicultura (Perillo, 1995). Um estuário pode ser definido como uma parte marítima de um sistema de vale afogado sujeita às flutuações das marés e ao encontro e mistura de água doce do rio com água salgada do mar, recebendo sedimentos de sua bacia hidrográfica e de fontes marinhas (Bird, 2008). Os sistemas estuarino-lagunares são ambientes costeiros amplos de planície costeira que se compõem de uma rede de canais interligados entre si e com o oceano, recebendo descarga fluvial de numerosas fontes (Miranda et al., 2002).

Segundo Walker (1992), o uso geológico moderno do termo fácies foi introduzido por Gressley em 1838, que consistia em um conjunto de aspectos litológicos e paleontológicos que distingue uma unidade estratigráfica. De acordo com Selley (1985), uma fácies sedimentar pode ser distinguida de outras pela geometria, litologia, estruturas sedimentares, padrão de paleocorrente e fósseis.

Processos sedimentares em estuários e áreas costeiras contêm informações relacionadas à evolução da morfologia, às características do ecossistema e à troca de materiais com os sistemas aquáticos adjacentes. Dados de monitoramento contínuo de sedimentos a longo prazo não estão disponíveis para muitas regiões. A interpretação de registros sedimentares em amostras em testemunhos sedimentares é uma abordagem alternativa para obter características de sedimentação no passado em estuários (Cheng et al., 2019).

As variações climáticas em relação ao regime de chuvas, em latitudes tropicais, condicionam o volume e a sazonalidade do fluxo de água nas bacias hidrográficas. Dentre uma grande variedade de estuários nessas áreas tropicais, encontram-se os estuários tropicais semiáridos. Tais estuários, são situados em costas úmidas, porém as condições da bacia hidrográfica são semiáridas (Barletta & Costa, 2009, Morais & Pinheiro, 2011).

O Município de Itarema, Ceará, localizado na costa oeste do Estado possui uma atividade econômica principalmente relacionada à pesca (Costa et al., 2020) e encontra-se em uma área com influência semiárida. Particularmente no Porto dos Barcos em Itarema não há presença direta de rios, apenas de canais de marés. Além de Porto dos Barcos, outros locais apresentam características similares como Porto da Barra Grande (Maia et al., 2019; Souza et al., 2020) no Município de Icapuí no Ceará; Estuário Goiana (Barletta & Costa, 2009) nas fronteiras de três Municípios: Goiana em Pernambuco, Caaporã e Pitimbú na Paraíba; Estuário Bahía Blanca (Ginsberg & Perillo, 2004) na Argentina;

e o sistema de canais de maré no mar de Wadden holandês (Cleveringa & Oost, 1999).

Nesses canais, o fluxo bidirecional de marés, gerando as correntes de vazante e inundação (Hughes, 2012), contribui na sedimentação e morfologia de ambientes marinhos rasos (Souza et al., 2020). Os canais de maré apresentam características ambientais atrativas para a população local para a utilização como canais de navegação e pequenos portos (Ginsberg & Perillo, 2004).

Os estuários lagunares do estado do Ceará têm sua gênese associada, na maioria das vezes, à presença de barreiras costeiras (Hesp et al, 2009) que ocupam 12-13% da costa mundial. As lagunas localizadas na retrobarreira e os seus canais de marés são principalmente controladas por fluxos de energia das marés (Flemming, 2012).

Desta forma, o presente trabalho teve o objetivo de analisar a estratigrafia rasa do sistema estuarino-lagunar de Itarema, no litoral oeste do Ceará.

2. Área de estudo

A área de estudo corresponde às localidades de Porto dos Barcos e Guajiru no Município de Itarema a aproximadamente 200 km da capital do Estado do Ceará, Fortaleza (figura 1). Tal ambiente é caracterizado por barreiras costeiras em associação com o ecossistema manguezal o qual possui uma elevada morfodinâmica com indícios de processos degradativos. Estes processos têm como gênese ações antrópicas, assim como a própria dinâmica natural (Bezerra Filho, 2017).

O clima da região do município de Itarema é Tropical Quente Semi-árido Brando e Tropical Quente Semi-árido, com pluviosidade de 1.139,7 mm, temperatura média de 26°C a 28°C, e período chuvoso nos cinco primeiros meses do ano (IPECE, 2017). Os ambientes estuarinos do município de Itarema estão inseridos na bacia hidrográfica do Litoral (COGERH, 2019). Na Planície Litorânea estão presentes lagoas que formam lagoas interdunares devido estarem associadas a aquíferos dunares, oscilações sazonais das condições climáticas e flutuações do lençol freático. Além disso, a região apresenta relevo de Tabuleiros Pré-Litorâneos que são constituídos predominantemente por sedimentos Neógeno-Quaternário da Formação Barreiras (Morais et al., 2006). Ademais, o complexo Flúvio-Marinho ou planície Flúvio-Marinha é integrante da Planície Litorânea (Costa et al., 2019). A região de Itarema está sob o domínio de ambientes com restingas e cordões arenosos largos com extensas faixas de praia (~600 m de extensão). Os desmatamentos das áreas com manguezais aumentaram significativamente para a construção de tanques de camarão. As ações erosivas do perfil subaéreo são observadas sazonalmente apenas nas preamares de sizígia e/ou mediante alterações no transporte de sedimentos nos cordões arenosos (Morais et al., 2006, Pinheiro et al., 2016, Morais et al, 2018).

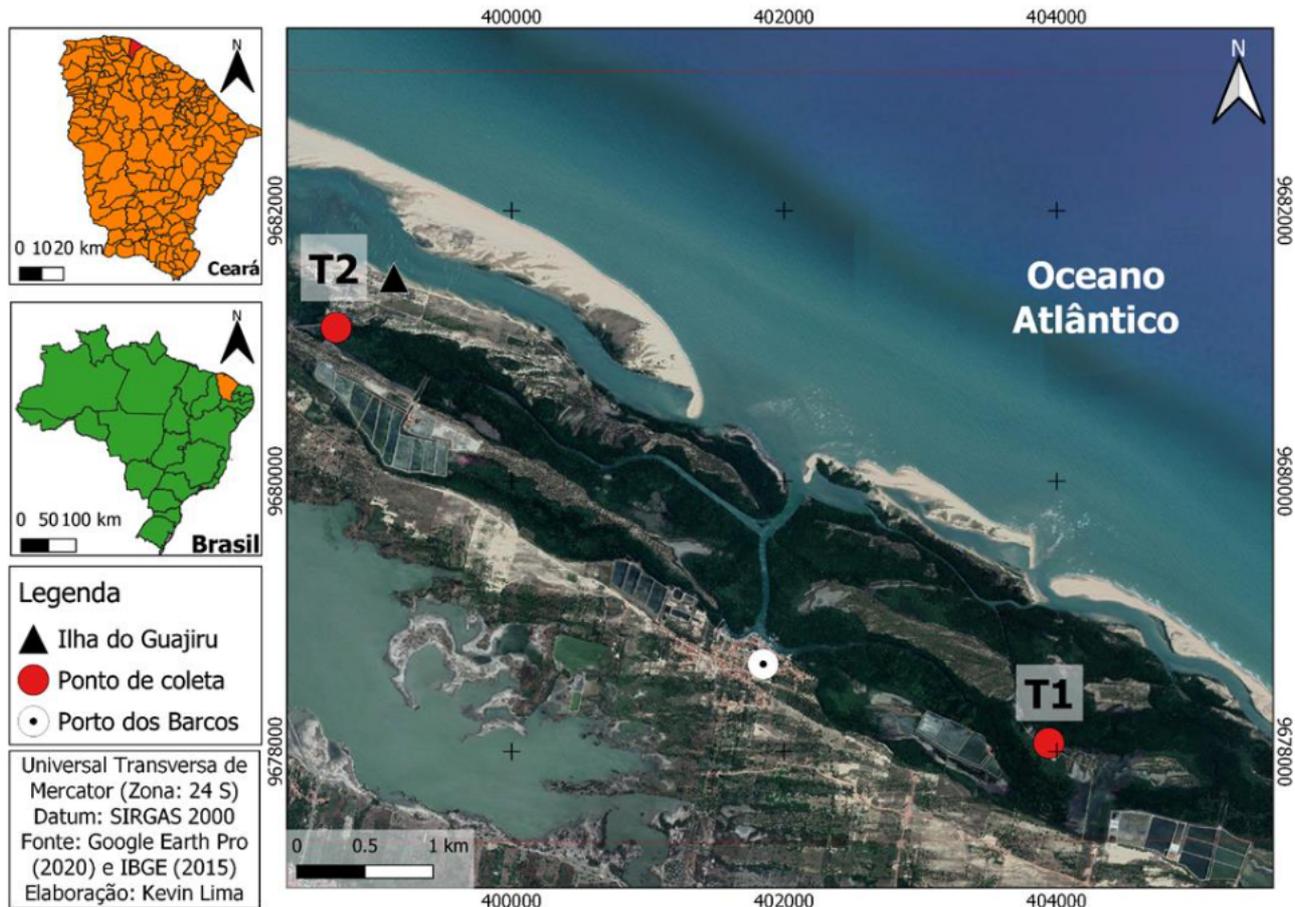


Figura 1. Carta imagem de localização dos testemunhos T1 e T2 coletados próximos ao Porto dos Barcos e Guajiru, no município de Itarema.

No litoral de Itarema as lagoas, quando em contato com as águas do mar, possibilitam a colonização de espécies de mangues formando ambientes de influência mista localmente conhecidos como “gamboas” (Morais & Fonteles, 2000). A Ilha do Guajiru possui um *spit* que alterna ciclos com diferentes configurações entre *spit* e ilha barreira, atuando como barreira protetiva contra a ação direta de ondas e marés para a comunidade local e para uma área de manguezal (Moura, 2018). A compartimentação geoambiental da planície litorânea de Itarema mais detalhada é mostrada na figura 2.

No estado do Ceará, o período entre maio e agosto é de transição, no qual o ciclo térmico e diurno terra-oceano passa a alternar brisas marinhas e terrestres, resultando em ventos de ENE-E (60°-90°) durante o dia, e E-SE (90°-150°) à noite. No período entre setembro-dezembro os ventos alísios e as brisas marinhas se intensificam, com direção predominante variando de E a SE, com preponderância dos ventos alísios de E. A velocidade anual dos ventos em Itarema pode ultrapassar 8m/s ao longo de toda costa, sendo assim um dos maiores valores do estado (Silva, 2014). Os ventos alísios, constantes ao longo de todo o ano, são um dos mais relevantes agentes dinâmicos para a construção de *spit*, o qual pode ser originado pela corrente de deriva

litorânea que, ao transportar sedimentos superficiais, forma uma ponta arenosa em área de enseadas ou de canais de maré devido ao vento que sopra quase paralelo à linha de costa ao longo da zona de praia (Costa et al., 2020).

O sistema estuarino-lagunar localizado próximo à localidade do Porto dos Barcos e Guajiru não possui afluência de águas fluviais, apenas de canais de maré. De acordo com Bezerra Filho (2017), neste sistema estuarino ocorre vegetação de mangue de grande e médio porte. Segundo o autor, este compartimento geoambiental possivelmente só existe devido à existência de barreiras costeiras e/ou ilhas barreiras. O estuário é caracterizado por três canais de maré principais e alguns outros com dimensões menores, denominados de canais secundários. O regime de marés no Estado do Ceará é caracterizado como meso-maré com periodicidade semidiurna (Maia, 1998) e amplitude de 3,3 m.

Conforme a pesquisa realizada por Costa et al. (2020) sobre a dinâmica costeira e formação de *spit* na Praia do Porto, Município de Itarema, Estado do Ceará, o *spit* se forma a partir de 2004, evoluindo rapidamente em 2006. Entre 2006 e 2014, a barra arenosa mantém sua área aproximadamente constante, apenas

demonstrando modificações na morfologia. Entre 2014 e 2018, o *spit* volta a aumentar em área, ocorrendo uma expressiva modificação na morfologia local, com progradação da área de praia na face exposta à ação das ondas e marés, e processos erosivos na área de manguezal. Além disso, segundo os autores, até 2014 foi observado fortes processos erosivos na face frontal do *spit* e depósito de sedimentos na parte de jusante, na direção noroeste. Entre 2014 e 2018, houve uma forte

sedimentação na face marítima do *spit*, ampliando expressivamente sua área e erosão em sua extremidade de jusante (a noroeste), expandindo significativamente a entrada do canal de maré. Ainda de acordo com os autores, não foi possível identificar algum indicativo de que tenha ocorrido dragagem no canal de maré nos últimos anos.

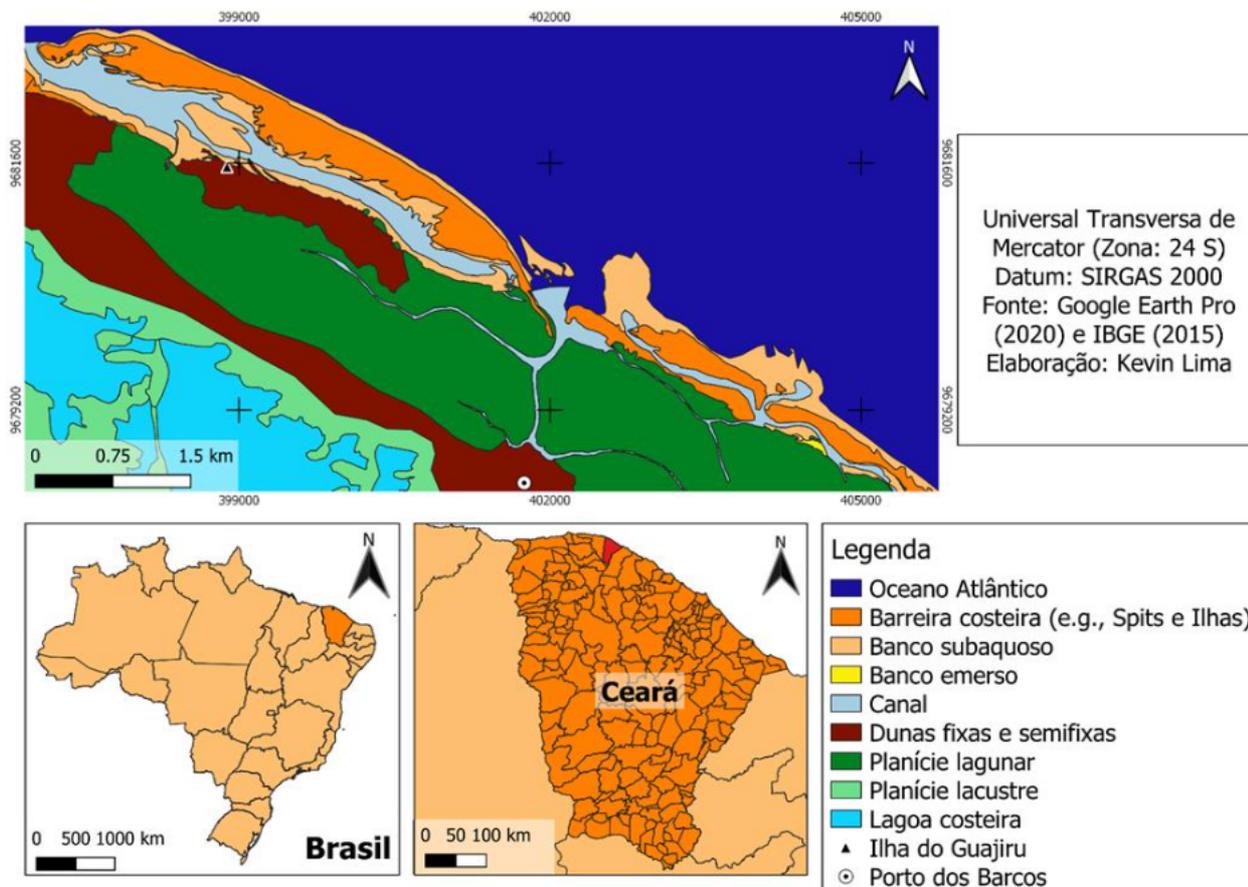


Figura 2. Mapa de compartimentação geoambiental da planície litorânea de Itarema-CE.

3. Materiais e métodos

3.1 Amostragem de testemunhos sedimentares

Foram coletados dois testemunhos (T1 e T2) distantes cerca de 6 km na região de Porto dos Barcos e Guajiru, no município de Itarema (figura 1).

O ponto de coleta do testemunho T1 encontra-se a leste do Porto dos Barcos, e em suas imediações verifica-se uma estrada de chão, vegetação de manguezal, além de fazendas de carcinicultura e plantação de coqueiros. O ponto de coleta do testemunho T2 encontra-se a oeste do Porto dos Barcos, próximo à Ilha do Guajiru, e em suas imediações situa-se uma estrada asfaltada, vegetação de manguezal e fazendas de carcinicultura.

Para a coleta dos testemunhos foram utilizados tubos de PVC de 50 mm de diâmetro e 1 m de comprimento. A metodologia consistiu em técnica de percussão manual, na qual o tubo foi penetrado manualmente no solo. Após isto, foi retirado manualmente, com cuidado para evitar perdas de coluna sedimentar, e vedado nas duas aberturas por tampas de PVC. Em seguida, foram identificados o topo e a base dos testemunhos.

3.2 Identificação das fácies sedimentares

Primeiramente foi feita a abertura dos testemunhos (figuras 3 e 4). A identificação das fácies sedimentares foi realizada de acordo com a coloração, granulometria e presença de fragmentos de natureza orgânica. A identificação da cor foi feita por meio da carta de cores de Munsell Color (2009). Os testemunhos foram

medidos utilizando fita métrica, medindo o comprimento total e de cada fácies identificada. Por fim, as fácies foram separadas em sacos plásticos para posteriores análises.



Figura 3. Identificação das fácies sedimentares do testemunho T1.



Figura 4. Identificação das fácies sedimentares do testemunho T2.

3.3 Análises em laboratório

Em laboratório foi realizada a análise granulométrica de acordo com a metodologia de Suguio (1973), quantificação do teor de carbonato de cálcio (CaCO₃) determinado por meio do método calcímetro de Bernard adaptado (Lamas et al., 2005), e de matéria orgânica por meio da metodologia baseada na calcinação “*Loss of Ignition*” (adaptação de Davis, 1974). Através da sucessão das camadas estratigráficas quantificou-se o número de fácies presentes em cada testemunho, caracterizando-as referentes aos seus aspectos granulométricos, de coloração e de natureza orgânica e mineral. A partir disso, a integração dos dados resultou na elaboração de perfis colunares dos testemunhos, através do *software SedLog*, um programa *shareware* para desenho e manipulação de colunas estratigráficas (Peixoto et al., 2012). As sucessões das camadas estratigráficas foram comparadas entre as fácies do mesmo pacote sedimentar bem como entre os testemunhos recuperados.

4. Resultados e discussão

4.1 Descrição dos testemunhos e granulometria

No testemunho T1 foi recuperado 65 centímetros, e no testemunho T2 recuperou-se 86 centímetros, somando-se ao todo 1,51 metros de comprimento sedimentar.

O testemunho T1 em estado úmido foi dividido em 4 partes de acordo com a coloração e textura dos sedimentos. Identificou-se duas fácies no testemunho T1, cujas características estão resumidamente demonstradas na figura 5.

A sequência sedimentar apresentou, segundo a classificação de Folk & Ward (1957), predomínio da fácies de areia com cascalho esparso, representando 96,15% dos 65 cm do testemunho recuperado. Seguidamente, a fácies menos representativa foi de areia lamosa com cascalho esparso, representando 3,85% do sedimento total recuperado do testemunho sedimentar.

No topo do testemunho T1, no intervalo de 0-2,5 cm (T1D), houve 71,63% de areia e 21,43% de lama. No restante do testemunho, no intervalo 2,5-65 cm (T1C, T1B e T1A), a areia predominou com mais de 97% de concentração (gráfico 1). No quadro 1 é possível observar a concentração de cascalho, areia e lama em cada intervalo do testemunho T1.

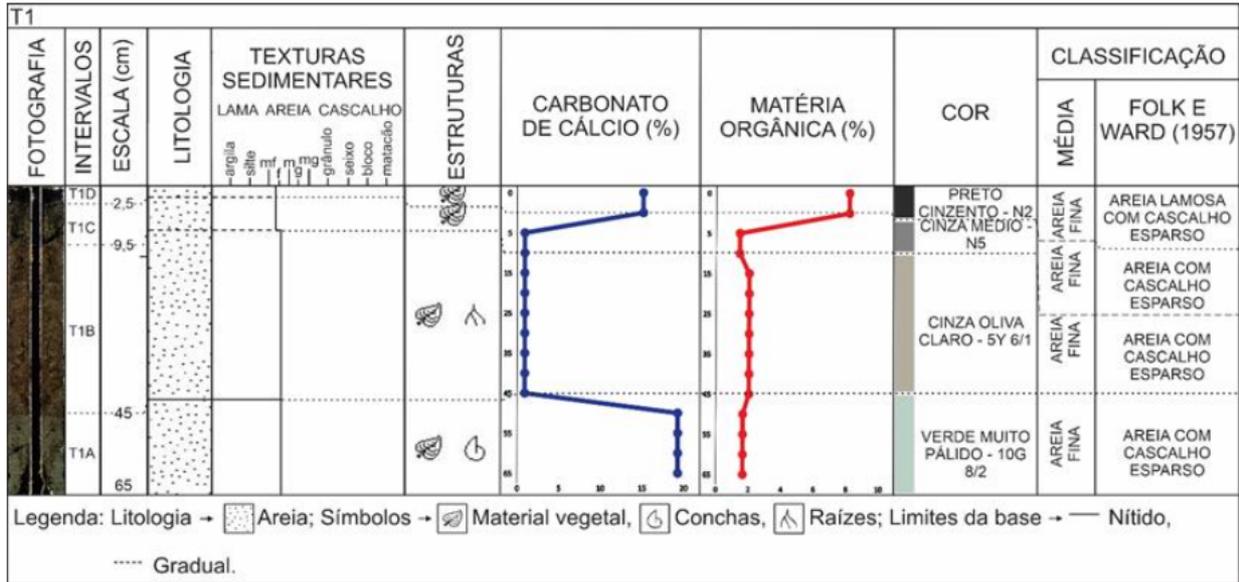


Figura 5. Seção colunar e perfis de distribuição dos constituintes de litologia, texturas sedimentares, estruturas, carbonato de cálcio (porcentagem), matéria orgânica (porcentagem), cor (Munsell Color, 2009) e classificação da média e de Folk & Ward (1957) em função da profundidade (em cm), no testemunho T1 coletado a leste do Porto dos Barcos.

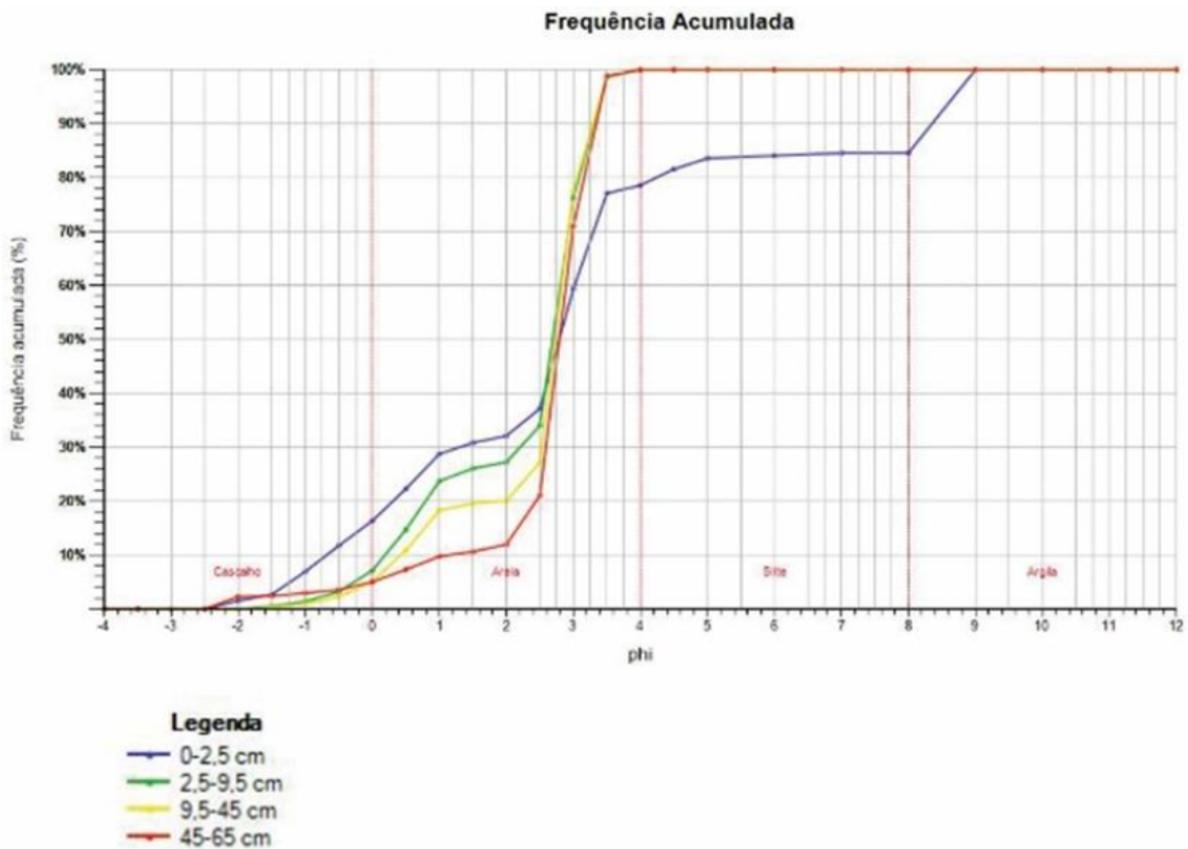


Gráfico 1. Frequência acumulada do testemunho T1.

Observou-se presença de raiz e concha, respectivamente, na parte mais central e na base do testemunho sedimentar, além de material vegetal ao

longo de todo o testemunho. Apresentou lâmina de lama na profundidade de 2,5-9,5 cm de coloração Cinza Oliva Claro - 5Y 6/1, laminações de areia quartzosa grossa (de

coloração Branco - N9), diferentes do padrão principal devido a concentrações de grãos de quartzo visualmente mais grossos que o entorno, nas profundidades de 19 cm, 22 cm e 34 cm, e a partir de 34 cm houve a presença de laminações de lama de coloração Cinza Oliva - 5Y 4/1. A coloração ao longo do testemunho variou de Preto Cinzento - N2 a Verde Muito Pálido - 10G 8/2. A sequência sedimentar apresentou alternância gradual entre as fácies, a exceção é a presença de um contato nítido entre os intervalos T1A-T1B deste testemunho.

Quadro 1. Granulometria em porcentagem de cascalho, areia e lama presente nas profundidades do testemunho T1.

PROFUNDIDADE (cm)	CASCALHO (%)	AREIA (%)	LAMA (%)
0-2,5	6,94	71,63	21,43
2,5-9,5	1,377	98,623	0
9,5-45	1	99	0
45-65	2,98	97,02	0

A coloração Preto Cinzento - N2 observada no intervalo T1D, também foi observada por Lima (2012) no topo de uma sondagem (IT-5) tipo SPT feita em Itapeva, Estado do Rio Grande do Sul. Em ambos os testemunhos, T1 e IT-5 de Lima (2012), a coloração Preto Cinzento - N2 esteve presente no topo dos testemunhos. Isto pode ser devido a um maior acúmulo de matéria orgânica na região mais superficial da planície lagunar onde os testemunhos foram coletados. E a coloração Cinza Médio - N5, também foi observada no topo de um testemunho (T01) coletado por Miola (2013) no manguezal do estuário do Rio Coreaú, Estado do Ceará. Tanto o intervalo T1C quanto no testemunho T01 de Miola (2013), entre os intervalos de 0-9 cm de profundidade, apresentaram parâmetros similares de CaCO₃ (aproximadamente entre 12-15%), M.O. (aproximadamente entre 1-3%) e profundidade (até aproximadamente 10 cm). Tais parâmetros geoquímicos podem ter colaborado para que tais regiões dos testemunhos possuíssem coloração de Cinza Médio - N5.

Os resultados granulométricos observados no testemunho T1 possuem uma configuração parecida com um testemunho observado por Calandrine (2019), coletado a cerca de 2,5 km de distância de T1, que realizou trabalho com testemunhos sedimentares na região, no qual também é observada a presença de frações finas no topo e uma fração mais grossa até uma profundidade similar à do testemunho T1, aproximadamente de 50 cm. De acordo com a autora, essa característica observada pode ter ocorrido devido à

proximidade do ponto de coleta à carcinicultura a qual dissipou seus efluentes no ambiente estuarino.

No entanto, um subambiente de uma antiga barreira costeira inativa (paleo ilha barreira) próximo do testemunho T1 pode ter colaborado com a maior concentração de areia nesse testemunho nos intervalos T1A, T1B e T1C. Já a fácies de material mais fino no topo do testemunho T1 (intervalo T1D) pode estar relacionada a um recente avanço do ecossistema manguezal da região.

O testemunho T2 em estado úmido foi dividido em 7 partes de acordo com a coloração e textura de sedimentos. Identificou-se duas fácies no testemunho T2, cujas características estão apresentadas resumidamente na figura 6. Ambas as fácies sedimentares, arenosas (Areia com cascalho esparso e Areia) e lamosas (Areia lamosa com cascalho esparso) apresentaram cada uma representação de 50% dos 86 cm total do testemunho recuperado.

O topo, intervalo de 0-26 cm, e a base, intervalo de 69-86 cm, apresentaram uma predominância da granulometria areia com concentração acima de 98%. Na parte intermediária do testemunho, intervalo de 26-69 cm, houve presença significativa de lama, com 21,51%, 43,69% e 46,05% nos intervalos de 26-42 cm, 42-62 cm e 62-69 cm, respectivamente (gráfico 2). No quadro 2 é possível observar a concentração de cascalho, areia e lama em cada intervalo do testemunho T2.

Observou-se material vegetal ao longo de todo o testemunho, com presença de concha próxima a base do testemunho. A coloração variou bastante ao longo do comprimento do testemunho, passando por Cinza Esverdeado - 5GY 6/1 a Azul Muito Pálido - 5B 8/2. A coloração Cinza Claro Médio - N6 também foi observada por Lima (2012) na sondagem IT-5 em Itapeva, Estado do Rio Grande do Sul e por Calandrine (2019) no testemunho A1 em Itarema, Estado do Ceará. Foi identificado uma semelhança do intervalo T2D com uma porção intermediária do testemunho A1 de Calandrine (2019), nos quais foram observadas variações decrescentes de CaCO₃ (aproximadamente entre 0-15%), porém a porção intermediária do testemunho A1 de Calandrine (2019) apresentou um menor teor de M.O. (aproximadamente 3-6%) em relação ao intervalo T2D.

O testemunho apresentou uma significativa alternância expressando fácies mais arenosas no topo (intervalos T2G, T2F e T2E) e na base (intervalos T2B e T2A), e a fácies areno-lamosa concentrou-se na parte intermediária (intervalos T2D e T2C) do testemunho sedimentar recuperado. Na parte basal foi evidenciada a presença de nítidos contatos entre os intervalos.

variação do fluxo de marés nos canais que colaborou com cada processo de deposição.

Quadro 2. Granulometria em porcentagem de cascalho, areia e lama presente nas profundidades do testemunho T2.

PROFUNDIDADE (cm)	CASCALHO (%)	AREIA (%)	LAMA (%)
0-2	0,267	99,733	0
2-26	0,051	99,949	0
26-42	0,107	78,379	21,514
42-62	0,658	55,644	43,698
62-69	2,815	51,135	46,05
69-72	1,36	98,63	0
72-86	0,31	99,69	0

Além disso, os resultados observados nos testemunhos podem ser devido a condições de retrabalhamento, em razão do domínio de forçantes marinhas no ambiente. A mudança da barreira costeira, transformando-se em *spit* ou ilha, pode alterar a entrada de energia no sistema, atuando na dinâmica de transporte de deposição. Portanto, a variedade de energias ao longo de diferentes estágios pode ter sido acarretada pela alternância de fases de maior energia (sedimentação arenosa) e menor energia (sedimentação lamosa).

4.2 Distribuição dos teores de carbonato de cálcio (CaCO₃)

O testemunho T1 apresenta no topo e na base uma maior concentração no teor de CaCO₃, chegando a 19,27% na profundidade de 45-65 cm, enquanto nas profundidades de 2,5-45 cm o teor de CaCO₃ é de 0,9%. O testemunho T2 apresenta os maiores teores de CaCO₃ localizados em seu topo e base com uma concentração máxima de 26,84% na profundidade de 2-26 cm, em contrapartida, na região intermediária do testemunho, apresenta os menores teores, com uma menor concentração de 4,68%, na profundidade de 42-62 cm (figura 7).

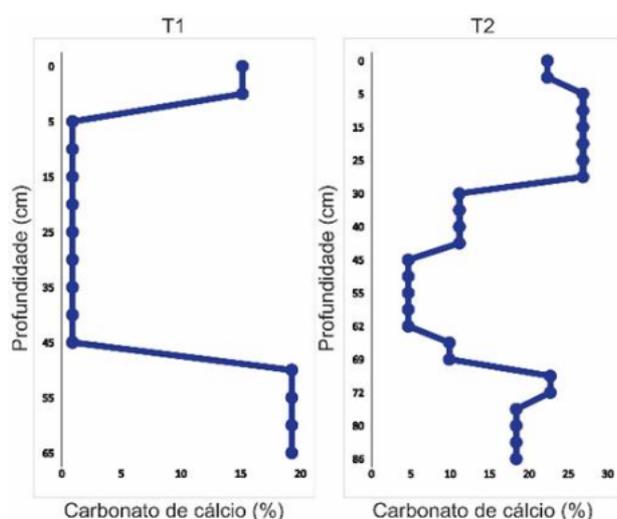


Figura 7. Distribuição de carbonato de cálcio nos testemunhos sedimentares.

Os teores de CaCO₃ observados no testemunho T1 parecem não apresentar relação com a granulometria, já que na profundidade de 0-2,5 cm e 45-65 cm obtiveram os maiores valores de CaCO₃, 15,13% e 19,27%, respectivamente. No entanto, a concentração de areia foi acima de 97% ao longo de quase todo o testemunho (2,5 até 65 cm) e uma menor concentração de areia de 71,63% na profundidade do topo do testemunho (0-2,5 cm). Desta forma, apesar das profundidades intermediárias do testemunho (2,5-45 cm) também haver uma concentração elevada de areia, o teor de CaCO₃ foi de apenas 0,9%.

O teor de CaCO₃ mais concentrado no topo do testemunho pode estar associado a maior concentração de frações de cascalho. Como verificado por Miola (2013), no manguezal do estuário do Rio Coreau no Ceará, e por Martins (2017), na costa de Pernambuco, as frações dos testemunhos que possuíram uma significativa concentração de cascalho tiveram um teor de CaCO₃ maior. A maior concentração de CaCO₃ na base do testemunho pode ser justificada pela presença de fragmentos de conchas presentes nesta região.

No testemunho T2 os teores de CaCO₃ apresentaram uma relação com a granulometria mais grossa, pois os maiores teores de carbonato de cálcio, variando entre 18,37% e 26,84%, apresentaram uma concentração de areia superior a 98% localizado nas profundidades de 0-26 cm e 69-86 cm. Em contrapartida, a porção mais intermediária do testemunho nas profundidades de 26-69 cm apresentou uma concentração de areia entre 51,13% e 78,37%, e um teor de CaCO₃ também menor variando de 4,68% a 11,17%.

Miola (2017) encontrou nos sedimentos do estuário do Acaraú, costa oeste do Ceará, uma relação do teor de CaCO₃ com a fração granulométrica mais grossa. De acordo com a autora, além da relação direta com uma fração granulométrica específica, os teores de carbonato de cálcio também obedecem a uma relação com uma fonte disponível, por exemplo a ocorrência de fragmentos de conchas e algas calcárias. Costa (2018) constatou em três testemunhos sedimentares no estuário do rio Potengi, Rio Grande do Norte, maiores valores de CaCO₃ associados a organismos bentônicos, enquanto os menores valores de CaCO₃ observados eram relacionados a um testemunho mais arenoso.

4.3 Distribuição dos teores de matéria orgânica (M.O.)

O teor de matéria orgânica no testemunho T1 variou de 1,45% a 8,2%, havendo a maior concentração na parte mais próxima do topo. O teor de matéria orgânica do testemunho T2 variou de 1,06% a 13,2%, ocorrendo suas maiores concentrações na região intermediária (figura 8).

É possível observar a relação da M.O. com a granulometria mais fina nos dois testemunhos analisados. No testemunho T1 o maior teor de M.O. foi no topo onde está a fácies de Areia lamosa com cascalho

esparso a qual apresenta 21,43% de lama. No entanto, no decorrer do testemunho, a M.O. foi muito baixa, variando de 1,45% a 2,03%, e nesta região a concentração de areia foi entre 97% e 99%.

No testemunho T2 também ocorreu algo similar, pois os maiores valores do teor de M.O. foram 7,3%, 12,56% e 13,2%, respectivamente nos intervalos profundidade de 26-42 cm, 42-62 cm e 62-69 cm. Também nesta região, a granulometria apresentou uma concentração de lama de 21,51%, 43,69% e 46,05%. No entanto, nas profundidades de maior abundância de sedimentos grossos, na região do topo e da base do testemunho, onde a fração areia apresentou mais de 98% de representação, o teor de M.O. foi menor, variando de 1,06% a 5,25%.

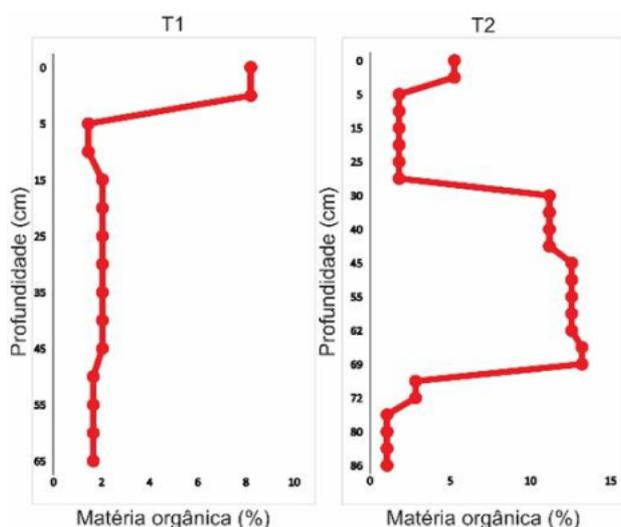


Figura 8. Distribuição de matéria orgânica nos testemunhos sedimentares.

Essa relação entre uma maior porcentagem de M.O. e amostras com presença de grãos mais finos, isto é, com maior conteúdo de silte e argila foi observado também por Miola (2013) no manguezal do estuário do rio Coreaú, costa oeste do Ceará. Segundo a autora, além de fontes naturais de matéria orgânica para o sedimento, fontes antrópicas podem estar contribuindo, como o descarte de efluente dos tanques de carcinicultura. A figura 9 demonstra a artificialização na área de estudo através de tanques de carcinicultura, estradas e modificações da vazão da maré. Araújo et al. (2019) encontraram resultados condizentes no estuário de Barra de Gramame, Paraíba, no qual baixas quantidades de M.O. foram observadas em camadas arenosas, em contrapartida em camadas com maior quantidade de silte revelaram maiores teores de M.O. Segundo Vidal & Becker (2006), devido à grande capacidade de adsorção das argilas, as partículas de pequeno tamanho de sedimentos de granulometria fina (fração silte e argila) associam-se a maior quantidade de matéria orgânica.



Figura 9. Artificialização de planícies lagunares associadas a tanques de carcinicultura.

5. Considerações finais

Com base nos dados analisados neste trabalho foi possível atingir as seguintes considerações a respeito dos padrões sedimentares de estratigrafia rasa em uma planície lagunar, costa oeste do Ceará, Brasil:

Foi identificada uma variedade de coloração dos sedimentos dos testemunhos sedimentares em tons de preto, cinza e verde em ambos os testemunhos, além de colorações de branco e azul presentes em T2. Foi observado ainda a presença de fragmentos vegetais ao longo de todo o comprimento dos testemunhos, além de fragmentos de conchas e raízes em algumas frações dos testemunhos.

Por meio das análises granulométricas, foi notado um padrão bimodal de fácies arenosas e areno-lamosas. Esse padrão demonstra uma alteração nos padrões deposicionais na região estuarina em razão da morfodinâmica da barreira arenosa que apresenta uma constante transformação nos últimos anos. Ressalta-se, portanto, a influência que a barreira costeira pode ter na dinâmica sedimentar estuarina, além de demais agentes costeiros como ventos, deriva litorânea e marés. Verificou-se também que o ambiente adjacente de T2 teve uma maior variabilidade na dinâmica sedimentar, pois apresentou uma maior alternância de fácies. Enquanto em T1, indicou um uma menor alternância de fácies.

Em relação a geoquímica, o CaCO_3 atestou uma relação com grãos mais grossos e fragmentos de conchas, demonstrando um retrabalhamento de forçantes marinhas em função da morfodinâmica da barreira costeira. A M.O. expressou uma associação maior com sedimentos de granulometria mais fina em virtude da maior competência de adsorção de argilas. Ademais, o despejo de efluentes dos tanques de carcinicultura na região podem ter influenciado também nos resultados de M.O.

Diante disso, os resultados apresentados nesta pesquisa poderão contribuir para uma melhor compreensão da sedimentologia dos sistemas estuarino-lagunares. Contudo, é importante haver uma continuação destes estudos para que haja um melhor entendimento dos sistemas estuarino-lagunares de Itarema. Destaca-se também a relevância deste tipo de

estudo para obtenção de mais informações no que concerne às características desses ambientes costeiros e desta forma possibilitar um melhor planejamento e implementação de estratégias de gestão costeira mais apropriada para a conservação desses ambientes.

Agradecimentos

Ao CNPq pelas bolsas de Iniciação Científica (Lima, K.S.F e Mendonça, D.M) e PQ (316941/2021- Pinheiro, L.S.), pelo apoio ao projeto “Dinâmica ambiental e impactos nos sistemas estuarinos-lagunares sob a influência da semiaridez” - Edital Universal (431456/2016-0/ 309140/2018-8). A CAPES pela bolsa de Doutorado (Silva, R.R) e de Professor Visitante (Código: 001, Pinheiro, L.S.). Ao projeto PELD Costa Semiárida (CNPq/FUNCAP).

Referências

- ARAÚJO E., SILVA J., OLIVEIRA T., SANTANA N., FREIRE M. 2019. Apicum do estuário de Barra de Gramame-PB: Análises físicas e químicas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12:112-123.
- BARLETTA M., COSTA M. 2009. Living and Non-living Resources Exploitation in a Tropical Semi-arid Estuary. *Journal of Coast Research*, 56:371-375.
- BEZERRA FILHO F.A.A. 2017. Sistemas estuarinos de Torrões e Porto dos Barcos, Itarema (Ceará, Brasil): Um olhar a partir da percepção ambiental. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 177p.
- BIRD E. 2008. *Coastal Geomorphology – An Introduction*. Wiley, England, 436p.
- CALANDRINE, F. P. 2019. Diagnóstico dos Impactos ambientais no sistema estuarino lagunar de Itarema, litoral oeste do Ceará. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 115p.
- CLEVERINGA J., OOST A. 1999. The fractal geometry of tidal-channel systems in the Dutch Wadden Sea. *Geologie en Mijnbouw*, 78:21-30.
- CHENG Z., XANG X., JALÓN-ROJAS I., LIU Y. 2019. Reconstruction of sedimentation changes under anthropogenic influence in a medium-scale estuary based on a decadal chronological framework. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 227.
- COGERH - COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ 2019. Litoral. Disponível em <http://portal.cogerh.com.br/litoral/#>. Acesso em 15 de maio de 2020.
- COSTA S.S. 2018. Avaliação geoquímica de elementos-traços em testemunhos no estuário do Rio Potengi - RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 101p.
- COSTA A., PINHEIRO A., BARRA O., VASCONCELOS F. 2020. Dinâmica Costeira e Formação de *Spirit* na Praia do Porto, Município de Itarema, Estado do-Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13:1610-1628.
- DAVIS B. 1974. Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:347-353.
- FLEMMING B.W. 2012. Siliciclastic Back-Barrier Tidal Flats. In: DAVIS R.A., DALRYMPLE R.W. (eds) *Principles of Tidal Sedimentology*. Springer, Dordrecht, 231-268p.
- GINSBERG S., PERILLO G. 2004. Characteristics of Tidal Channels in a Mesotidal Estuary of Argentina. *Journal of Coastal Research*, 20:489-497.
- HESP P.A., MAIA L.P., CLAUDINO-SALES V. 2009. The Holocene Barriers of Maranhão, Piauí and Ceará States, Northeastern Brazil. In: DILLENBURG S.R., HESP P.A. (eds) *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer, Berlin, Heidelberg, 107:325-345p.
- HUGHES Z.J. 2012. Tidal Channels on Tidal Flats and Marshes. In: DAVIS R.A., DALRYMPLE R.W. (eds) *Principles of Tidal Sedimentology*. Springer, Dordrecht, 269-300p.
- IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ 2017. Perfil municipal 2017 Itarema. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Itarema_2017.pdf. Acessado em 03 de novembro de 2019.
- LAMAS F., IRIGARAY C., OTEO C., CHACÓN J., 2005. Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls. *Engineering Geology*, 81:32-41.
- LIMA L.G. 2012. Estratigrafia e evolução holocênica de uma barreira costeira transgressiva/regressiva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 119p.
- MAIA L.P. 1998. Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. Tese de Doutorado. Programa Doctorado de Ciencias del Mar, Departamento d'Estratigrafia i Paleontologia, Universitat de Barcelona, 269p.
- MAIA G., SOUZA I., ABREU NETO J., FREIRE G., MEDEIROS M. 2019. Estudo da Influência da Maré sob a remobilização do material em suspensão no período de enchente no canal do porto da barra grande, Icapuí-CE. *Estudos Geológicos*, 29:54-62.
- MARTINS S.E.M. 2017. Caracterização paleoambiental de sedimentos holocênicos da plataforma continental interna adjacente ao Porto de Recife e do estuário do Rio Formoso, costa de Pernambuco – Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 181p.
- MIOLA B. 2013. Caracterização geoquímica e mineralógica dos sedimentos do manguezal do estuário do Rio Coreau, Ceará-Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 87p.
- MIOLA, B. 2017. Proveniência de sedimentos para os ecossistemas estuarinos do litoral Oeste do Ceará. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 166p.
- MIRANDA L., CASTRO B., KJERFVE B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. Edusp, São Paulo, 417p.
- MORAIS J., FONTELES M. 2000. Fluxos interativos na elaboração da planície costeira de Itarema – Ceará. *Revista de Ciência e Tecnologia*, 1:63-68.
- MORAIS J.O., FREIRE G.S., PINHEIRO L.S., SOUZA M.J.N., CARVALHO A.M., PESSOA P.R.S., OLIVEIRA S.H.M. 2006. Ceará. In: MUEHE D. (org) *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, 131-154p.
- MORAIS J., PINHEIRO L. 2011. The effect of semi-aridity and damming on sedimentary dynamics in estuaries- Northeastern region of Brazil. *Journal of Coastal Research*, 64:1540-1544.
- MORAIS J.O., PINHEIRO L.S., PESSOA P.R.S., FREIRE G.S.S., CARVALHO A.M., GUERRA R.G.P., BARROS E.L., MOURA F.J.M. 2018. Ceará. In: MUEHE D. (Org.) *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. MMA, Brasília, 261-289p.
- MOURA, F.J.M. 2018. Dinâmica de barreiras costeiras na Costa Semiárida Brasileira: o caso do litoral de Acaraú e Itarema – Ceará. Tese de Doutorado. Programa de Pós- Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 267p.
- MUNSELL COLOR. 2009. *Geological Rock Color Chart*. Munsell Color: with genuine Munsell color chips. Grand Rapids, MI.
- PEIXOTO V., RIOS L., AMARO V. 2012. Caracterização dos depósitos sedimentares Holocênicos no sistema de ilhas barreiras do estuário Diogo Lopes, litoral setentrional do Rio Grande do Norte. *Revista de Geologia*, 25:55-69.
- PERILLO G.M.E. 1995. Geomorphology and sedimentology of estuaries: an introduction. In: PERILLO G.M.E. (ed) *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Instituto Argentino de Oceanografía, Bahia Blanca, 1-16p.

- PINHEIRO L.S., MORAIS J.O., MAIA L. P. 2016. The Beaches of Ceará. In: SHORT A. D., KLEIN A.H.F. (Org.) Coastal Research Library. Springer International Publishing, 175-199p.
- SELLEY R.C. 1985. Ancient Sedimentary Environments and their sub-surface diagnosis. Chapman and Hall, London, 317p.
- SILVA N.S. 2014. Novos olhares para o litoral cearense: a produção de energia eólica e os impactos socioambientais decorrentes dos parques eólicos Volta do Rio (Acarauá) e Cajucoço (Itarema) – CE, Brasil. Dissertação de Mestrado Acadêmico em Geografia. Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 143p.
- SOUZA I., MAIA G., ALMEIDA N., ABREU NETO J., FREIRE G., ALBUQUERQUE L., SILVEIRA A. 2020. Facies and stratigraphy of Porto da Barra Grande tidal channel, Icapuí – CE. Revista de Geociências Nordeste, 6:49-55.
- SUGUIO K. 1973. Introdução à Sedimentologia. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 317p.
- VIDAL R., BECKER, H. 2006. Distribuição de manganês, ferro, matéria orgânica e fosfato nos sedimentos do manguezal do Rio Piranji, Ceará. Arquivos de Ciências do Mar, 39:34-43.
- WALKER R. G. 1992. Facies, facies models, and modern stratigraphic concepts. In: WALKER R.G., JAMES N.P. (eds) Facies models: response to sea level change. Geological Association of Canada, Hamilton, 2:1-15p. .

Recebido 30 de abril de 2020

Aceito 24 de março de 2022