

Feições tafonômicas em macrorrestos vegetais holocenos da zona costeira do município de Camocim, Ceará

*Taphonomic traits of Holocene plant fragments from
the Camocim municipality coastal zone, Ceará, Brazil*

Sérgio Augusto Santos Xavier¹ , Maria Somália Sales Viana² 

¹Universidade Federal do Ceará - UFC, Centro de Ciências, Departamento de Pós-Graduação em Geologia, Bloco 912, Campus do Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE, BR (sergio.s.xavier@hotmail.com)

²Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA, Centro de Ciências Agrárias e Biológicas, Coordenação do Curso de Biologia, Sobral, CE, BR (somalia_viana@hotmail.com)

Recebido em 10 de fevereiro de 2019; aceito em 6 de agosto de 2020

Resumo

O município de Camocim, localizado na costa cearense, caracteriza-se por planícies e tabuleiros pré-litorâneos com a presença de largas faixas de dunas móveis, além de trechos com eolianitos que podem conter restos vegetais preservados em seu conteúdo. Nesta pesquisa, objetivou-se caracterizar os processos tafonômicos que preservaram esses macrorrestos vegetais. O trabalho de campo consistiu em observação direta de um afloramento de sedimentos eólicos diagenizados e dos vegetais mineralizados neles contidos, verificando a disposição e os tipos dos restos orgânicos. Os sedimentitos foram observados e descritos no campo e posteriormente no laboratório, sob microscópio estereoscópico, para análise de sua granulometria, tipo de cimento e litificação. Os macrorrestos vegetais mineralizados constituem uma assembleia autóctone/parautóctone de tubos horizontais e/ou verticais *in situ*, dentro ou ao redor do afloramento, circunvalados por exemplares menores apresentando feições de deformação e fragmentação, preservados por meio de calcificação e incrustação. A presença desses restos vegetais antigos, preservados em posição de vida, contribui para a compreensão da dinâmica sedimentar que atuou na região, permitindo o cruzamento de dados com os processos atuais.

Palavras-chave: Eolianitos; Tafonomia; Carbonato de cálcio; Vegetação litorânea; Holoceno.

Abstract

Located on Ceará's coastline, the Municipality of Camocim is characterized by lowlands and pre-coastal plateaus with large swaths of mobile dunes, in addition to stretches with eolianites, which may contain preserved plant remains. This research aimed to define the taphonomic processes that preserved these plant macrorests. Fieldwork consisted of direct observation of an outcrop, diagenized eolian sediments, and the mineralized plants contained therein, verifying their arrangement and types of organic remains. Sediments were observed and described in the field and, later, in the laboratory, using a stereomicroscope to examine its granulometry, type of cement, and lithification. The mineralized plants macrorests compose an autochthonous/parautochthonous assemblage of horizontal and/or vertical tubes *in situ*, inside or around the outcrop, surrounded by smaller specimens showing fragmentation and deformation features, preserved by calcification and incrustation. The presence of these ancient plant remains/debris in life position contributes to the understanding of the region's past sedimentary dynamics, allowing data cross-referencing with the current processes.

Keywords: Eolianites; Taphonomy; Calcium carbonate; Coastal vegetation; Holocene.

INTRODUÇÃO

A costa do estado do Ceará (Nordeste do Brasil), composta principalmente de depósitos arenosos pleistocenos-holocenos, é marcada, geomorfologicamente, por planícies litorâneas e tabuleiros pré-litorâneos (IPECE, 2017) com a presença de largas faixas de dunas móveis, dunas fixadas por vegetação ou cimentadas por carbonato de cálcio. Estas são conhecidas como eolianitos, rochas cuja deposição foi controlada pela ação eólica (Sayles, 1931). Ao longo da costa cearense, os eolianitos afloram de forma descontínua, surgindo como pequenos morrotes que se destacam na paisagem. A gênese do cimento carbonático desse depósito arenoso foi atribuída à dissolução de carapaças biogênicas marinhas presentes nos sedimentos costeiros (Coutinho, 1993; Maia et al., 1997). A idade aproximada de dois mil anos para esses depósitos foi determinada por meio de análises de ^{14}C dos restos de carapaças carbonáticas (Castro e Ramos, 2006).

Alguns afloramentos podem conservar em suas camadas ramos ou caules vegetais mineralizados (Carvalho et al., 2008; Mesquita et al., 2016). A natureza dos organismos e o ambiente de sedimentação determinam a maneira de sua preservação nos eolianitos. Por isso, é possível reconhecer aspectos ou feições que podem ser indicativos de sua história desde a causa da morte até o soterramento (bioestratigrafia), bem como sobre os processos geológicos que aconteceram depois disso e causaram a litificação dos sedimentos e a fossilização. Por outro lado, o registro sedimentar de vegetais tem representatividade restrita, especialmente pela pequena probabilidade de preservação imposta pela ausência de biomineralização e pela facilidade de decomposição de seus restos no solo, uma vez que a preservação de organismos requer condições deposicionais muito particulares e geologicamente raras (Simões et al., 2010).

Além disso, existe a possibilidade de mistura temporal (*time-averaging*) de partículas bioclásticas nos sedimentos em razão da bioturbação dos materiais, da compactação e, principalmente, pelo retrabalhamento dos substratos por agentes hidráulicos ou por altas taxas de sedimentação, no caso de transporte eólico de grãos. Mesmo quando preservadas, as plantas se apresentam desarticuladas e degradadas. A desarticulação é um dos processos que mais afeta os macrorrestos de plantas vasculares e grande quantidade deles é disponibilizada nos ambientes de sedimentação, em curto intervalo de tempo. A degradação ocorre pela ação de bactérias, fungos e invertebrados, sendo, em geral, decompostos na seguinte ordem: protoplasma, celulose, lignina, cutícula e esporopolenina (Spicer, 1991; Simões et al., 2010). Contudo, o soterramento rápido é a condição primordial para a preservação de vegetais, e os órgãos implantados no substrato, como raízes, possuem maior potencial de preservação.

Este trabalho descreve feições de preservação de plantas levando em consideração a dinâmica costeira e sua relação com a morte, o soterramento e a diagênese desses materiais.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras são provenientes de um afloramento localizado ao lado da rodovia CE-204, que liga a área urbana do município de Camocim à praia de Maceió, no litoral oeste do município (02°52'34.0"S / 040°55'32.4"W) (Figura 1). A coleta resultou de pesquisa de campo com a observação direta do afloramento de eolianito, seus sedimentos e vegetais mineralizados, verificando especialmente a disposição e os tipos dos restos orgânicos. Os sedimentos foram observados e descritos no campo e no laboratório (sob microscópio estereoscópico) para análise de sua granulometria, tipo de cimento e litificação.

O material vegetal coletado (nove amostras) foi analisado em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da Central Analítica da Universidade Federal do Ceará (UFC) para identificações microestruturais e composicionais. Para essa etapa, foi utilizado o modelo MEV Inspect S50, da marca FEI, o qual conta com o acessório de espectrometria por dispersão de energia de raios X (EDS) para análises químicas. O microscópio possui três computadores acoplados: o primeiro forma o suporte ao programa de litografia de elétrons (Raith); o segundo apoia a microanálise de raios X (*software* AZtec 2.0, Oxford); e o terceiro suporta o programa básico de controle do microscópio (FEI). A interpretação dos dados foi baseada em Kidwell et al. (1986) e conduziu à determinação de classes tafonômicas, embasando-se nas diferentes feições bioestratigráficas e diagênicas descritas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Eolianitos de Camocim

A origem dos eolianitos de Camocim é a mesma das demais ocorrências em toda a costa cearense: são resultantes de um processo iniciado pelo acúmulo eólico de grãos arenosos com certa fração de bioclastos oriundos da Plataforma Continental Brasileira, conforme sugerido por Coutinho (1993) e Maia et al. (1997). Posteriormente à estabilização dos depósitos eólicos teria ocorrido a saturação por água meteórica e a cimentação, a partir dos carbonatos solubilizados.

Os eolianitos são constituídos de areias quartzosas de granulometria média a fina, cimentados por carbonato de cálcio, com níveis friáveis e outros fortemente litificados. Apresentam estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas ou festonadas. Afloram em estreita faixa, entre a planície marinha holocênica e as atuais dunas móveis, formando pequenos morros isolados, dos quais os maiores chegam a cerca de 5 m de comprimento e altura. No afloramento estudado, os pacotes litificados se apresentam contínuos por 70 cm de espessura, constituídos de arenito fino a médio, laminação plano-paralela entrecortada por ramos

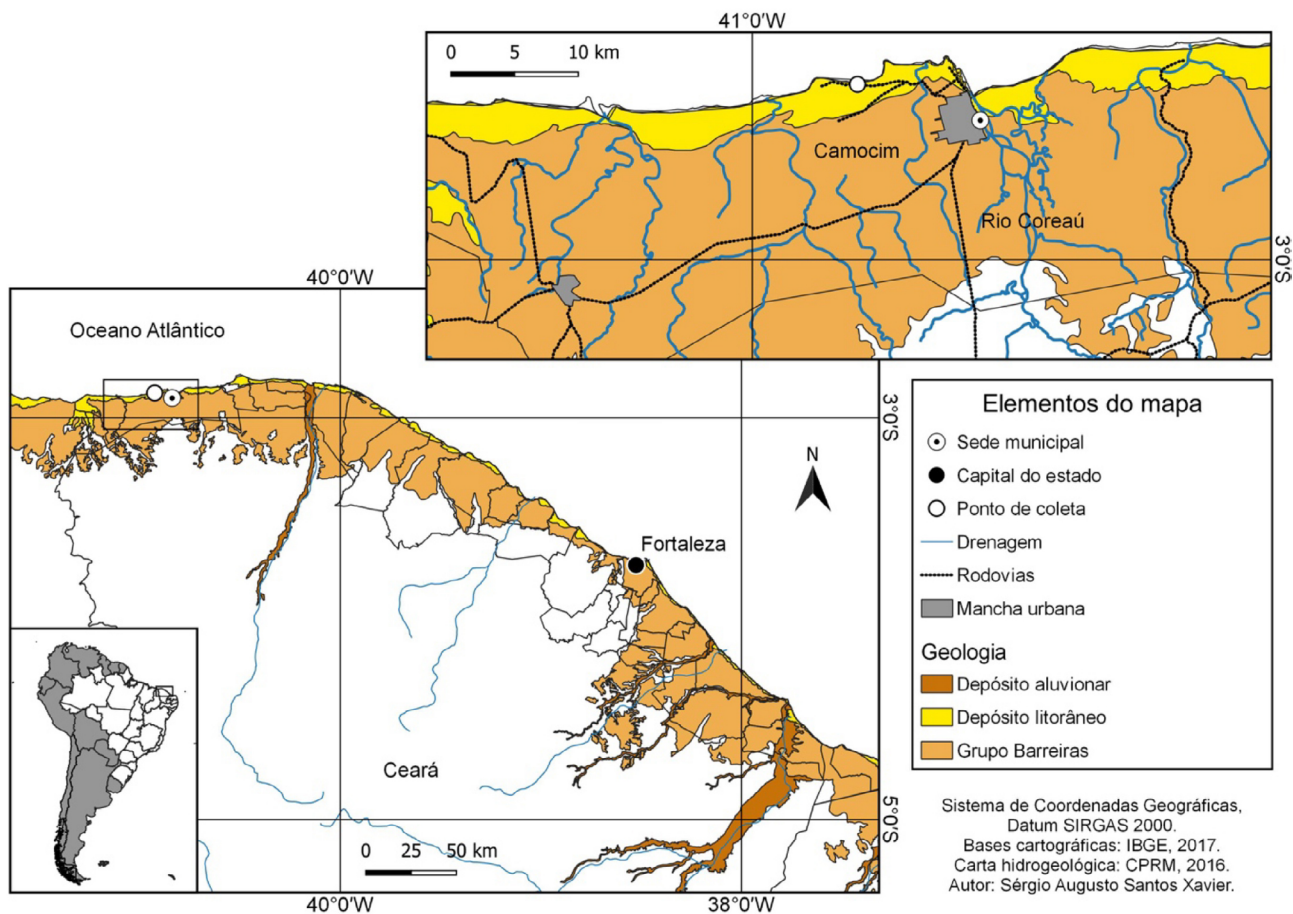


Figura 1. Mapa do litoral cearense, com destaque para a costa oeste do município de Camocim, suas unidades geológicas e o ponto de coleta (feito com o software QGIS 3.12).

vegetais mineralizados com exemplares de até 20 cm de comprimento, posicionados de forma vertical, sub-horizantal ou oblíqua à estratificação (Figura 2).

Análise bioestratinômica

A distribuição da assembleia de macrorrestos vegetais mineralizados nas camadas sedimentares dos eolianitos sugere se tratar de acumulações geradas em breve período do tempo geológico. No local, foram encontrados dois tipos de associações correspondentes à classificação de Kidwell et al. (1986): assembleia autóctone e parautóctone.

Os espécimes observados atravessando verticalmente as camadas nos afloramentos constituem-se, em sua maioria, de tubos com diâmetro variando entre 0,5 e 2 cm, retos, curvados ou retorcidos, de orientação vertical, horizontal ou oblíqua, sugerindo preservação em posição de vida. Isso indica que essas plantas foram soterradas *in situ*, não havendo transporte durante a fase bioestratinômica, constituindo assim uma assembleia autóctone (Figura 3). Os agentes

intempéricos agiram e ainda agem sobre os afloramentos em um constante processo erosivo, com a água meteórica e a ação eólica que deterioram as camadas mais friáveis expondo, e até mesmo destruindo parcialmente, os espécimes preservados. Esse processo erosivo junto ao choque mecânico causado por clastos eólicos desgasta e fragmenta os ramos vegetais que foram removidos do seu ponto de origem, ficaram ainda muito próximos (Figuras 3 e 4), constituindo uma assembleia parautóctone (Tabela 1).

Três graus preservacionais foram estabelecidos para o conteúdo das amostras estudadas, com base na identidade dos fragmentos vegetais (raízes ou caules) e nos elementos estruturais preservados nos seus tecidos (lume celular, parede celulósica, parede lenhosa ou ligninosa e cutícula) em ordem crescente de resistência à decomposição. Em baixo grau de preservação, apenas uma ou nenhuma das estruturas pode ser reconhecida; em médio grau de preservação, duas ou mais estruturas estão preservadas; e em alto grau de preservação, todos os elementos estão preservados ou podem ser observados.

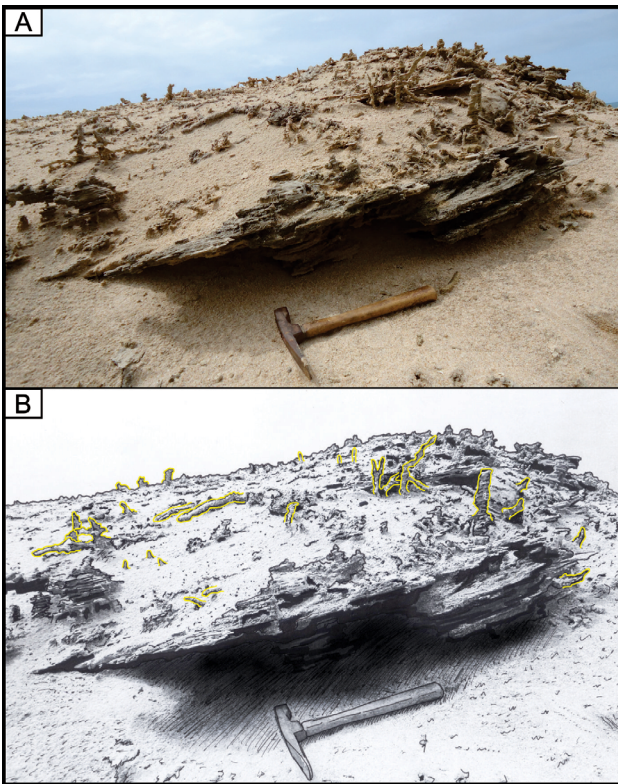


Figura 2. (A) Afloramento localizado no litoral de Camocim; (B) desenho esquemático destacando os ramos vegetais mineralizados, expostos pela erosão.



Figura 3. Espécimes em posição de vida associados a fragmentos dispersos na superfície, indicados pelas setas.



Figura 4. Espécimes coletados próximo ao afloramento exibindo variados graus de deformidade e fragmentação.

Tabela 1. Classes tafonômicas descritas para o material vegetal mineralizado de Camocim.

Classe	Descrição	Interpretação
1	Restos íntegros posicionados verticalmente e/ou horizontalmente (<i>in situ</i>), cortando as camadas de arenitos.	Autóctone
2	Restos íntegros ou fragmentados, levemente deformados, posicionados horizontalmente de forma aleatória, misturados à assembleia autóctone.	Parautóctone

A presença de possíveis estruturas relacionadas ao tecido do xilema (Figura 5) sugere que os fitorrestos se encontram em médio grau de preservação. Após a morte dos organismos, o protoplasma foi degradado, porém a rápida mineralização do tecido orgânico interrompeu a decomposição, preservando suas estruturas mais resistentes, como a parede celulósica e a parede ligninosa. De todos os componentes encontrados em ramos vegetais, os elementos do xilema são os mais comuns no registro fóssil em razão de sua estrutura lignificada (Taylor et al., 2009). A lignina é um polímero orgânico associado à celulose e que confere rigidez à parede celular, impermeabilidade e resistência à ação microbiana (Lebo Jr. et al., 2001; Martone et al., 2009).

Análise diagenética

O processo diagenético dos fitorrestos ocorreu em duas fases: permineralização seguida de incrustação. Na primeira fase, os

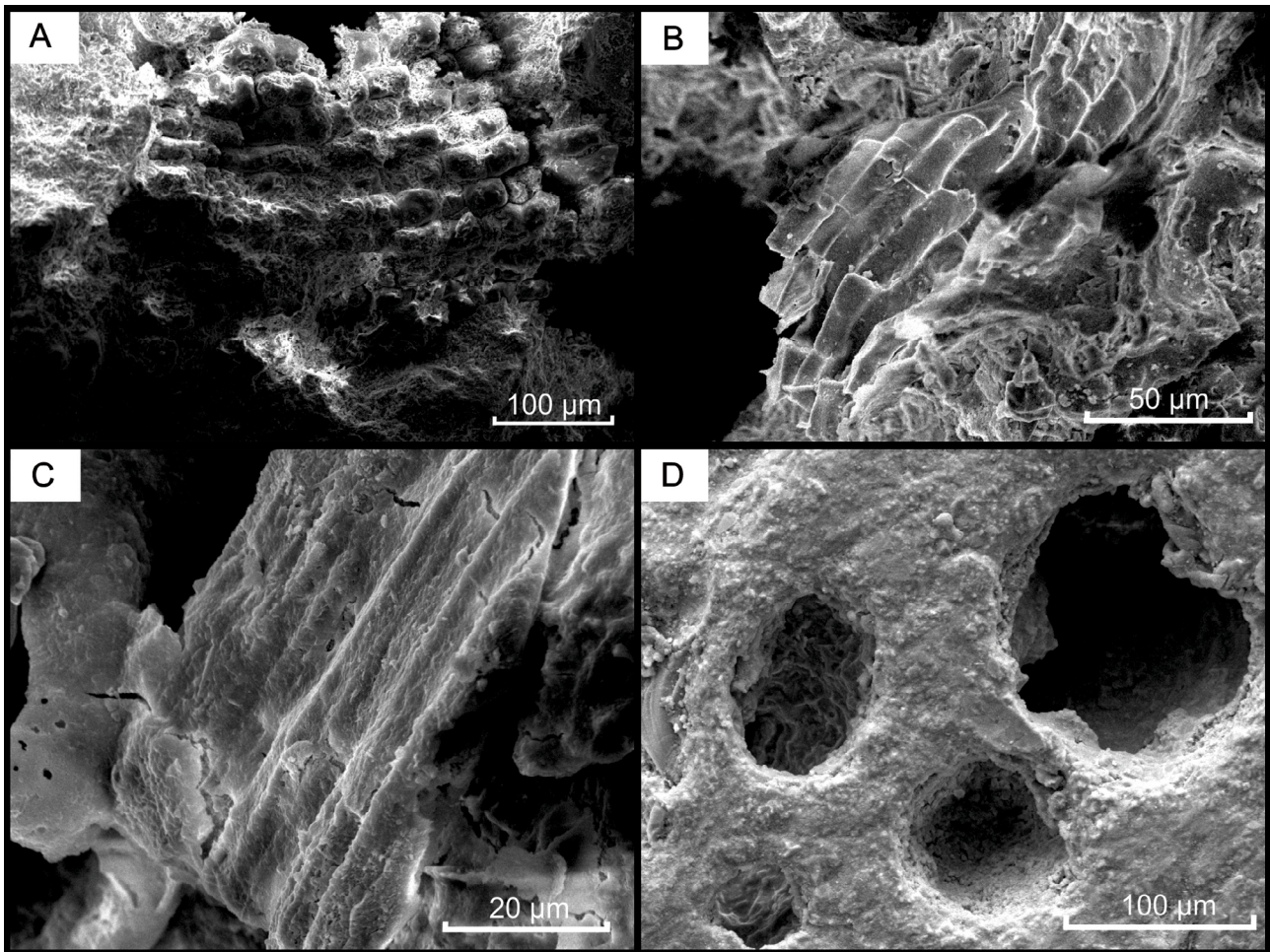


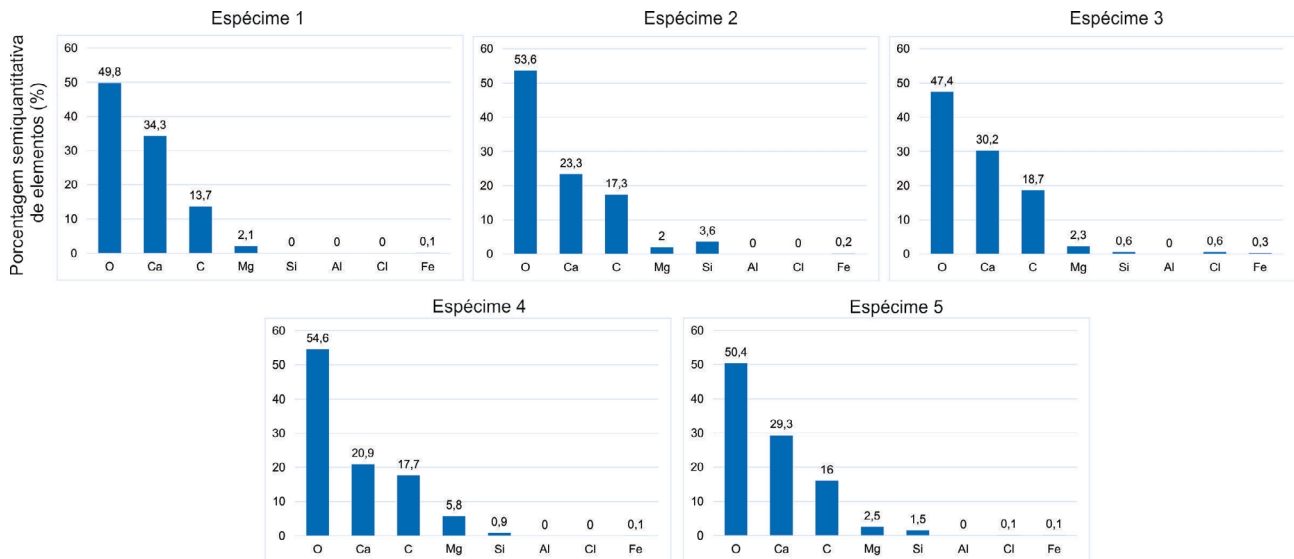
Figura 5. Fotomicrografias obtidas por microscópio eletrônico de varredura exibindo possíveis estruturas preservadas; (A e B) células parenquimatosas; (C) detalhe da parede e dos interstícios celulares; (D) abertura de vasos do xilema em seção transversal.

tecidos orgânicos vegetais foram preenchidos gradualmente por carbonato de cálcio (CaCO_3) oriundo da dissolução de bioclastos marinhos presentes nos sedimentos, percolando e precipitando nos lumens e interstícios celulares, conforme descrito também por Iannuzzi e Vieira (2005). Após a calcificação, os fragmentos de caules e raízes permineralizados foram envolvidos por uma crosta de areia, cimentada também por CaCO_3 (incrustação).

Como relatado por Xavier et al. (2018), por meio de análises químicas por EDS, o CaCO_3 foi identificado como o principal constituinte dos fitorestos, formando mais de 90% de sua composição mineral total (Figura 6). Elementos-traço como magnésio, silício, alumínio, cloro e ferro também foram identificados, considerando-se sua origem relacionada à diversa composição do material depositado no litoral da região, uma mistura de partículas continentais carregadas até a costa pela descarga hídrica do Rio Coreau (Meireles e

Vicente da Silva, 2002). Quanto à fonte do carbonato, está associada aos sedimentos da plataforma continental interna do litoral oeste de Camocim, composta de areias litobioclasticas — conchas fragmentadas de moluscos e depósitos superficiais de algas calcárias do gênero *Lithothamnium* (Dias et al., 2011).

A permineralização celular é o processo que representa mais fielmente o organismo como ele teria sido em vida, conservando detalhes anatômicos e até mesmo as estruturas e a composição orgânica das paredes citológicas dos tecidos (Iannuzzi e Vieira, 2005). A precipitação precoce de minerais nos lumens celulares garante aos tecidos boa resistência à compactação dos sedimentos, o que resulta na sua tridimensionalidade. Simultaneamente à calcificação dos ramos, parte do carbonato dissolvido no substrato serve de cimento para agregar uma crosta de grãos arenosos ao redor dos materiais recém-mineralizados (Figura 7).



O: oxigênio; Ca: cálcio; C: carbono; Mg: magnésio; Si: silício; Al: alumínio; Cl: cloro; Fe: ferro.
 Fonte: adaptado de Xavier et al. (2018).

Figura 6. Gráficos com as concentrações percentuais de elementos químicos identificados em cinco espécimes de fitorrestos coletados na zona costeira de Camocim, indicando que a substituição dos tecidos orgânicos ocorreu por carbonato de cálcio

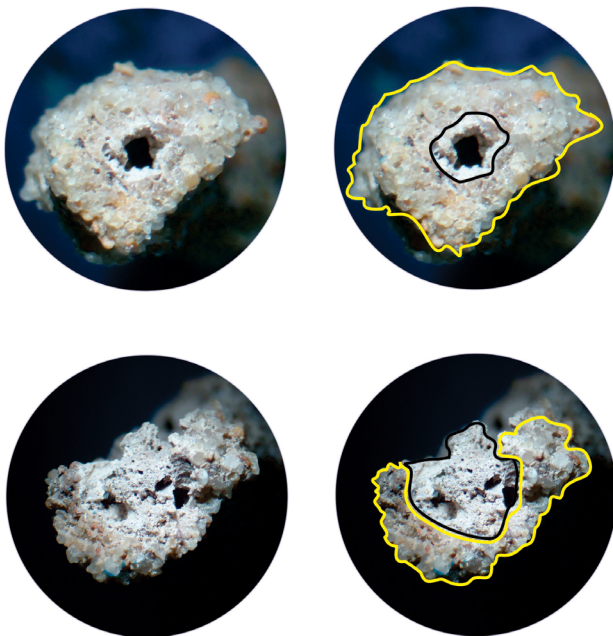


Figura 7. Duas fases diagenéticas observadas nos restos vegetais, em que parte do bicarbonato de cálcio dissolvido no substrato serve de cimento para agregar uma crosta de grãos arenosos (contorno amarelo) ao se precipitar como carbonato de cálcio, ao redor dos materiais recém-permineralizados (contorno preto). Aumento em lupa 2x.

É possível que a taxa de sedimentação decorrente do transporte eólico dos grãos tenha sido maior que o tempo de vida dos indivíduos vegetais de uma dada população, ocasionando a morte por soterramento. Isso pode ser observado atualmente nas proximidades do local, com a colonização de dunas por vegetação típica de restinga. Portanto, é possível que essa tanatocenose compreenda o acúmulo de restos de indivíduos da mesma geração, tendo em vista também a baixa durabilidade dos fitorrestos, que não resistiriam por muito tempo nas superfícies deposicionais aéreas nem suportariam episódios de retrabalhamento sem serem completamente destruídos. A possibilidade de mistura espacial foi descartada também pela pouca durabilidade desses restos orgânicos em ambiente aéreo, não permitindo a mistura de partículas biogênicas de diferentes ambientes sedimentares em uma única acumulação bioclástica. Isso também pode ser corroborado com o padrão atual de ocupação de pequenos morrotes de areia por essa vegetação (Figura 8), demonstrando que esse processo pode vir atuando na área por, pelo menos, dois mil anos (Castro e Ramos, 2006).

CONCLUSÕES

O conteúdo vegetal holoceno mineralizado representa uma associação autóctone/parautóctone caracterizada por tubos

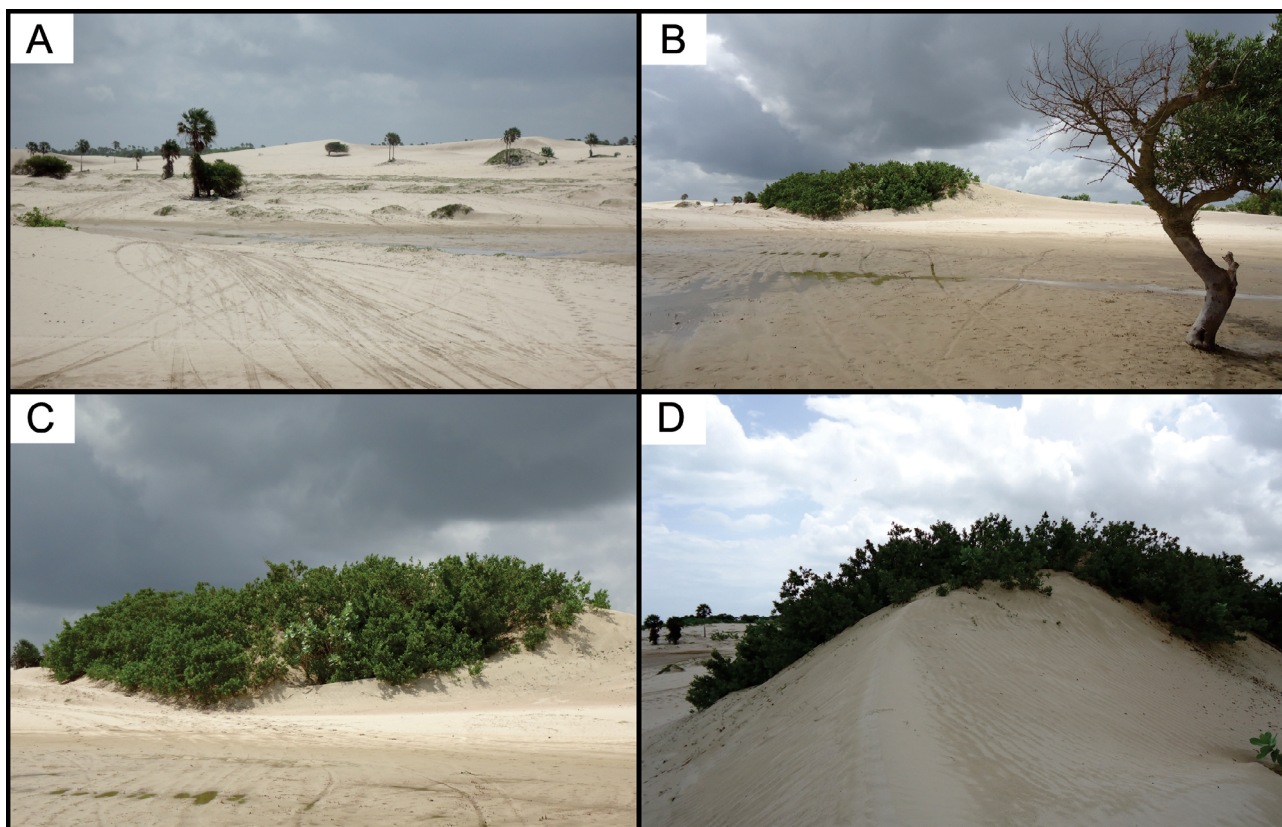


Figura 8. (A) Dunas de areia na zona costeira de Camocim habitadas por (B, C e D) arbustos em padrão similar ao que deveria ter sido a ocupação dos eolianitos na região, há cerca de dois mil anos.

horizontais ou verticais *in situ*, geralmente bem preservados, dentro ou ao redor dos afloramentos, circundados por ou associados a espécimes menores com feições de deformação e fragmentação que provavelmente foram carregados a curtas distâncias pós-fossilização até as áreas mais rebaixadas. Isso indica que essas plantas habitavam ambas as regiões elevadas e rebaixadas do terreno e que sua morte e seu sepultamento ocorreram no mesmo local em que viviam, em ambiente úmido com percolação de água meteórica dissolvida com bicarbonato de cálcio, que se precipitou como CaCO_3 , preservando-as no sedimento. A presença desses restos vegetais preservados em posição de vida contribui para a compreensão da dinâmica sedimentar que atuou na região, permitindo traçar paralelos com os processos que ocorrem atualmente.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), a bolsa de Mestrado

concedida ao primeiro autor; à Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), a disponibilização de veículo para trabalho de campo e infraestrutura de pesquisa no Laboratório de Paleontologia; à equipe da Central Analítica do curso de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC), a acessibilidade, o apoio e a exequibilidade na realização de todas as análises; ao Prof. Dr. Elnatan Bezerra de Souza, as discussões e explanações sobre a fitofisionomia costeira; e ao Mestre de Artes Daniel Forbes, o auxílio no desenho esquemático do afloramento.

REFERÊNCIAS

Carvalho, A. M., Claudino-Sales, V., Maia, L. P., Castro, J. W. A. (2008). Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil – Registro ímpar de um paleossistema eólico costeiro. In: M. Winge, C. Schobbenhaus, C. R. G. Souza, A. C. S. Fernandes, M. Berbert-Born, E. T. Queiroz (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil* (v. 515, p. 121-130). Brasília: CPRM.

- Castro, J. W. A., Ramos, R. R. C. (2006). Idade das dunas móveis transversais no segmento entre Macau e Jericoacoara – Litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro. *Arquivos do Museu Nacional*, 64(4), 361-367.
- Coutinho, P. N. (1993). Sedimentos Carbonáticos da Plataforma Continental Brasileira. *Revista de Geologia da UFC*, 6, 65-75.
- Dias, C. B., Barros, E. L., Morais, J. O. (2011). Granulados marinhos na plataforma continental N/NE do Brasil: ensaio metodológico. *XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, III Encontro do Quaternário Sul-Americano*. Anais, 1, 168-171. Rio de Janeiro: ABEQUA.
- Iannuzzi, R., Vieira, C. E. L. (2005). Plantas Fósseis: Modos de Preservação. In: R. Iannuzzi, C. E. L. Vieira (eds.). *Paleobotânica* (v. 167, p. 11-24). Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) (2017). *Perfil municipal 2017: Camocim*. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 18 p. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Camocim_2017.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2020.
- Kidwell, S. M., Fürsich, F. T., Aigner, T. (1986). Conceptual framework for the analysis of fossil concentrations. *Palaios*, 1(3), 288-238. <https://doi.org/10.2307/3514687>
- Lebo Jr., S. E., Gargulak, J. D., McNally, T. J. (2001). Lignin. In: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (v. 4, p. 1-32). Nova York: John Wiley & Sons.
- Maia, L. P., Sabadia, J. A., Freire, J. S. S., Serra, J. (1997). Caracterização geoquímica e diagenética da cimentação carbonática dos bechrocks e eolianitos da região costeira do Ceará. *Boletim XVII Simpósio de Geologia do Nordeste*, 177-181. Fortaleza: SBG-Núcleo Nordeste.
- Martone, P. T., Estevez, J. M., Lu, F., Ruel, K., Denny, M. W., Somerville, C., Ralph, J. (2009). Discovery of Lignin in Seaweed Reveals Convergent Evolution of Cell-Wall Architecture. *Current Biology*, 19(2), 169-75. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.12.031>
- Mesquita, A. F., Silva-Filho, W. F., Duarte, C. R., Bezerra, F. H. R., Vasconcelos, D. L., Sousa, J. P. (2016). Faciologia e Evolução dos Depósitos Eólicos Costeiros do Oeste do Ceará (Brasil) no Holoceno Tardio. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 17(4), 783-799. <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i4.832>
- Meireles, A. J. A., Vicente da Silva, E. (2002). Abordagem Geomorfológica para a Realização de Estudos Integrados para o Planejamento e Gestão em Ambientes Flúvio-marinhos. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 6(118). Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-118.htm>>. Acesso em: 7 ago. 2020.
- Sayles, R. W. (1931). Bermuda during the ice age. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 66(11), 381-468. <https://doi.org/10.2307/20026356>
- Simões, M. G., Rodrigues, S. C., Bertoni-Machado, C., Holz, M. (2010). Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: I. S. Carvalho (Ed.). *Paleontologia: conceitos e métodos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. p. 19-52.
- Spicer, R. A. (1991). Plant taphonomic processes. In: P. A. Allison, D. E. Briggs (Eds). *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record. Topics in Geobiology*. New York: Plenum Press. p. 72-108.
- Taylor, T. N., Taylor, E. L., Krings, M. (2009). Introduction to Vascular Plant Morphology and Anatomy. In: T. N. Taylor, E. L. Taylor, M. Krings (Eds.). *Paleobotany, The Biology and Evolution of Fossil Plants*. Elsevier, Book Aid International. v. 2. p. 201-222.
- Xavier, S. A. S., Viana, M. S. S., Souza, E. B. (2018). Caracterização química de vegetal holocênico mineralizado procedente de Camocim, Ceará. *Geologia USP. Série Científica*, 18(4), 3-9. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-142477>