



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**SÉRGIO AUGUSTO SANTOS XAVIER**

**REGISTROS BOTÂNICOS PRESERVADOS NOS EOLIANITOS DE CAMOCIM  
(HOLOCENO DO NOROESTE DO CEARÁ)**

**FORTALEZA**

**2017**

SÉRGIO AUGUSTO SANTOS XAVIER

REGISTROS BOTÂNICOS PRESERVADOS NOS EOLIANITOS DE CAMOCIM  
(HOLOCENO DO NOROESTE DO CEARÁ)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Paleontologia e Geologia Histórica.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Somália Sales Viana.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- X23r Xavier, Sérgio Augusto Santos.  
Registros botânicos preservados nos eolianitos de Camocim (Holoceno do noroeste do Ceará) / Sérgio Augusto Santos Xavier. – 2017.  
60 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Profª. Dra. Maria Somália Sales Viana.
1. Eolianito. 2. Caracterização química. 3. Fabaceae. 4. Ceará. 5. Holoceno. I. Título.

CDD 551

---

SÉRGIO AUGUSTO SANTOS XAVIER

REGISTROS BOTÂNICOS PRESERVADOS NOS EOLIANITOS DE CAMOCIM  
(HOLOCENO DO NOROESTE DO CEARÁ)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Paleontologia e Geologia Histórica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Maria Somália Sales Viana (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Maria Iracema Bezerra Loiola  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Maria Luiza Ribeiro Wetzel  
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

Aos meus pais, Madalena e Sebastião;  
A minha irmã Aline.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo auxílio financeiro concedido como bolsa de Mestrado Acadêmico.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia; aos membros do corpo docente do Departamento de Biologia da UFC, o Prof. Dr. Ítalo Antônio Cotta Coutinho e a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Arlete Aparecida Soares pela atenção, disponibilidade e conselhos prestados; aos professores que participaram da banca examinadora do exame de qualificação, o Prof. Dr. Luiz Parente Maia (UFC/LABOMAR) e a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Iracema Bezerra Loiola (UFC) pelas valiosas sugestões.

À Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), pela disponibilização de veículo para trabalho de campo e infraestrutura de pesquisa no Laboratório de Paleontologia, em especial ao Prof. Dr. Elnatan Bezerra de Souza pela amizade, constante apoio, encorajamento e sábias palavras que sempre me guiaram aos melhores caminhos, desde a graduação até o mestrado; e à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Ribeiro Wetzel pela disposição, boa vontade e valiosos conhecimentos compartilhados que foram de fundamental importância para a conclusão dessa dissertação.

Aos membros da minha banca examinadora deste mestrado, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Iracema Bezerra Loiola (UFC) e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Luiza Ribeiro Wetzel (UVA), pelo tempo concedido, colaborações e valiosas sugestões.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Somália Sales Viana, por sempre ter o cuidado, preocupação e atenção em cada detalhe durante minha formação acadêmica, desde a graduação até o mestrado. Sou muito grato por todos os conselhos, conversas, ensinamentos, discussões e puxões de orelha; por sua amizade, apoio, incentivos, paciência e pelo exemplo de profissional íntegro que ama o que faz, sempre me incentivando a crescer e encontrar o meu lugar não só na Ciência, como na vida. Muito obrigado!

A todos os funcionários e amigos do Museu Dom José (MDJ) pelo apoio, conversas e incentivo às pesquisas.

Ao técnico do Laboratório de Laminação do Curso de Geologia da UFC, Joel Pedrosa pela confecção de lâminas bem como polimento de amostras.

À toda a equipe técnica da Central Analítica do Curso de Física da UFC pela acessibilidade, apoio e exequibilidade na realização de todas as análises em microscopia.

Aos alunos do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFC, Karla Janaína, Pâmella Moura, Dayanne Abreu e Olga Alcântara pelo apoio, amizade, almoços e conversas

compartilhadas ao longo de dois anos; em especial à MSc. Maria de Jesus Gomes de Sousa por ser uma atenciosa, generosa e estimada amiga durante tantos anos, nas derrotas e nas vitórias, sempre me incentivando com um sorriso no rosto e disposta a ajudar seja como for. Sem sua confiança, seus conselhos, dicas, carinho e apoio eu não teria conseguido nada disso. Muito obrigado por tudo, Marrye!

À MSc. Débora Cavalcanti por toda a confiança, gentileza, carinho, generosidade e amizade incondicional desde o primeiro dia, compartilhando os bons e maus momentos, sempre com uma visão positiva da vida e ótimos conselhos. Obrigado por tudo!

Aos meus amigos, estagiários e ex-bolsistas do Laboratório de Paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Dayanne Abreu, Gina Cardoso, Maria de Jesus, Paulo Victor de Oliveira, Robbyson Melo, Rony Barroso e Thiago Lima, em especial a Danilo Sales pelo grande apoio na preparação de todo o material coletado.

Aos meus amados pais, Madalena Tomé dos Santos e Sebastião Caetano Xavier por todo o amor incondicional, pela excelente educação dada, pelo apoio, ensinamentos, valorosos conselhos e lições de vida. Sou o que sou hoje graças a vocês. À minha querida irmã Aline Xavier pelo companheirismo, amor e por tudo que representa para mim.

À Iamara Brioso e Carlos Hélio Fernandes por toda a amizade, confiança, conversas descontraídas noites adentro e recepção durante esses dois anos de viagens a Sobral. Sem a ajuda de vocês eu não teria conseguido. Muito obrigado.

Agradeço ao Engenheiro Renan Vieira Rocha e ao meu querido amigo, o Geógrafo Robson Rodrigues pelas discussões científicas, revisão de termos e esclarecimento de dúvidas.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização dessa pesquisa e aqueles que sempre acreditaram no meu sucesso profissional, apoiando e incentivando o meu crescimento acadêmico e pessoal. Muito obrigado.

“Em algum lugar, algo incrível está esperando para ser descoberto.” Carl Sagan

## RESUMO

A zona costeira do Estado do Ceará estende-se por 570 km, entre os estados do Rio Grande do Norte, ao leste e Piauí, ao oeste, com trechos que exibem os baixos platôs sustentados pela Formação Barreiras e acima desta, a planície quaternária a qual possui depósitos de origem fluvial, lagunar e eólico. Os eolianitos, rochas que foram depositadas pela ação eólica, são unidades geomorfológicas que, no Brasil, tem ocorrência restrita à região Nordeste. Alguns afloramentos podem apresentar restos vegetais litificados, inicialmente interpretados como raízes, cortando as camadas de arenito e expostas pela erosão. A análise e estudo aprofundado dessas formas de vida pretéritas da zona costeira, auxiliada por prévios dados geológicos, geocronológicos e sedimentológicos, servem como um subsídio para a interpretação de dados paleoambientais e paleohidrológicos, assim como de informações edáficas, permitindo um melhor entendimento das condições ambientais locais. Objetivou-se com esta pesquisa identificar esses vegetais antigos preservados como ramos mineralizados nos eolianitos da região costeira de Camocim. O método da pesquisa esteve baseado em levantamento bibliográfico, dados de campo e na observação direta do material, com análises químicas e morfológicas das amostras coletadas. A interpretação dos fenômenos geológicos e biológicos envolvidos lançou mão dos princípios gerais da Biologia, Ecologia e Paleontologia. As análises químicas nos vegetais mineralizados foram feitas a partir da técnica de espectrometria por dispersão de raios-X, revelando que não houve variações significativas entre a composição das amostras, sendo constituídas por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Elementos traço como Magnésio, Silício, Alumínio, Cloro, Bromo e Fósforo também foram identificados. A investigação morfológica dessas plantas se deu em quatro espécimes com diferentes diâmetros (0.5, 1.2, 1.7 e 2.0 cm), observando características morfológicas e anatômicas com análises em microscopia eletrônica. Apenas o espécime 4 exibiu estruturas interpretadas como elementos de vaso, solitários e/ou múltiplos de dois elementos e raios homocelulares com células procumbentes, características que podem ser correlacionadas à família Fabaceae. Os espécimes foram interpretados como plantas herbáceas a subarborescentes que habitaram a região estuarina. A caracterização química das amostras atesta a variedade composicional dos sedimentos depositados no litoral da região, enquanto a presença de estruturas citológicas preservadas com a identificação de um provável táxon acrescenta novas informações a respeito da história dos eolianitos e de seu conteúdo vegetal mineralizado.

**Palavras-chave:** Eolianito. Caracterização química. Fabaceae. Ceará. Holoceno.

## ABSTRACT

Coastal zone of Ceará state extends through 570 km, Rio Grande do Norte state to the east and Piauí to the west, with parts that exhibit low plateaus supported by Barreiras Formation and above it, quaternary flatland that has fluvial, lacustrine and eolian deposits. Eolianites, rock deposited by wind action, are geomorphologic units that, in Brazil, occur in Northeast region only. Some outcrops may show lithified plant remains, firstly interpreted as roots, cutting through sandstone layers and exposed by erosion. The analyses and depth study of these past life forms from coastal zone, assisted by early geological, geochronological and sedimentological data, they serve as an aid for interpretation of paleoenvironmental and paleohydrologic data, so as of edaphic information, allowing a better understanding of local environmental conditions. This research aimed to identify these ancient plants preserved as mineralized stems in eolianites from Camocim coastal zone. The research method was based on literature review, field data and direct observation of material, with chemical and morphological analyses of collected samples. The interpretation of biological and geological phenomena made use of the Biology, Ecology and Paleontology general principles. The chemical analyses in the mineralized plants were made by energy-dispersive X-ray spectroscopy technique, revealing there were not significant variations between samples composition, being primarily made of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ). Trace elements like Magnesium, Silicon, Aluminum, Chlorine, Bromine and Phosphorus were also identified. The morphological investigation in these plants occurred in four specimens with different diameter measures (0.5, 1.2, 1.7 e 2.0 cm), noting external and internal anatomic features with electronic microscopy analyses. Only the fourth specimen showed structures interpreted as vessels solitary and/or multiple of two elements and homocellular rays with procumbent cells, features correlated to family Fabaceae. The specimens were interpreted as herbaceous and sub-shrub plants inhabited a marine-influenced area. The chemical characterization of samples attests the compositional variety of sediments deposited at the coastland region, while the presence of cytological structures preserved with identification of a probable taxon add new information about the eolianites history and its plant mineralized content.

**Keywords:** Eolianite. Chemical characterization. Fabaceae. Ceará. Holocene

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa do litoral cearense mostrando um dos afloramentos de eolianitos encontrados na zona costeira de Camocim, ao lado da BR-204..... 16
- Figura 2 – Principais fluxos de matéria e energia responsáveis pelos processos morfogenéticos ao longo do sistema flúvio-marinho do Rio Coreaú, que determinam suas reações ambientais..... 22
- Figura 3 – Modelo estratigráfico das gerações de dunas registradas na costa do Ceará, mostrando a sequência das feições geomorfológicas costeiras da mais antiga (1) a mais recente (6)..... 23
- Figura 4 – Laboratório de Paleontologia onde as amostras passaram por limpeza e impermeabilização..... 27
- Figura 5 – Afloramento de onde o material dessa pesquisa foi coletado, distante alguns metros da margem esquerda da BR-204, em direção a praia de Maceió. As setas apontam alguns tubos mineralizados expostos pela erosão eólica..... 28
- Figura 6 – A: Afloramento localizado na margem direita da BR-204, em direção a praia de Maceió. B e C: É possível observar a presença de alguns tubos mineralizados expostos no topo e cortando as camadas do arenito friável, indicados por círculos e setas..... 29
- Figura 7 – Amostras antes da preparação, as quais foram submetidas as análises de EDS. Escala: 5 cm..... 33
- Figura 8 – Mapa do litoral cearense mostrando o ponto de origem das amostras, na zona costeira de Camocim..... 34
- Figura 9 – Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 1. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro)..... 35
- Figura 10 – Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 2. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro)..... 35
- Figura 11 – Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 3. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro)..... 36
- Figura 12 – Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 4. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro)..... 36

- Figura 13 – Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 5. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro)..... 37
- Figura 14 – Mapa do litoral cearense mostrando onde os eolianitos afloram na zona costeira de Camocim, ao lado da BR-204..... 43
- Figura 15 – Morfologia externa dos espécimes estudados. As setas indicam ramificações presentes nos tubos enquanto que o círculo destaca a parte exposta do tubo que emerge do sedimento litificado. Escala: 5 cm..... 46
- Figura 16 – Espaço com preenchimento parcial passivo na região central dos espécimes 1 e 2. Escalas: A. visão em MEV, 2 mm, B. 1 cm..... 47
- Figura 17 – Cortes em secção transversal (espécime 1, A-B; espécime 2, C-D; espécime 3, E-F; espécime 4, G-H) onde os círculos mostram os elementos de vaso. Em H, as setas apontam as células radiais procumbentes. É possível observar a parede do elemento de vaso múltiplo em A (canto inferior esquerdo) e G (canto superior direito). Escalas: A-G: 500  $\mu\text{m}$ ; H: 30  $\mu\text{m}$ ..... 49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Terminologia associada a rizólitos descritos na literatura desde o seu primeiro registro, no século XIX.....	20
Tabela 2 – Concentração percentual dos elementos químicos identificados nas cinco amostras.....	38
Tabela 3 – Concentração percentual dos elementos químicos identificados nas quatro amostras.....	44
Tabela 4 – Critérios gerais utilizados para a caracterização dos espécimes.....	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE VEGETAL HOLOCÊNICO MINERALIZADO PROCEDENTE DE CAMOCIM, CEARÁ.....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>REGISTRO DE FRAGMENTOS VEGETAIS EM EOLIANITOS HOLOCÊNICOS DA REGIÃO DE CAMOCIM, CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL.....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A zona costeira do Estado do Ceará estende-se por 570 km, entre os estados do Rio Grande do Norte (ao leste) e Piauí (ao oeste). As principais unidades geomorfológicas que ocorrem nesse trecho são os baixos platôs sustentados pela Formação Barreiras e acima desta, a planície quaternária a qual possui depósitos de várias origens (fluviais, lagunares e eólicos) (CARVALHO *et al.*, 2008). Os depósitos eólicos são feições sedimentares que têm o vento como agente geológico e formam extensos campos de dunas dispostos ao longo da costa adentrando alguns quilômetros no continente. Praticamente toda linha de costa é constituída por dunas móveis, dunas fixas ou cimentadas por carbonato de cálcio, estas últimas conhecidas como eolianitos, termo cunhado por Sayles (1931). Esses locais são colonizados por plantas adaptadas a condições de estresse ambiental como os fortes ventos, água salina, altas temperaturas, baixo nível de nutrientes, assim como as mudanças constantes entre erosão e deposição de sedimentos.

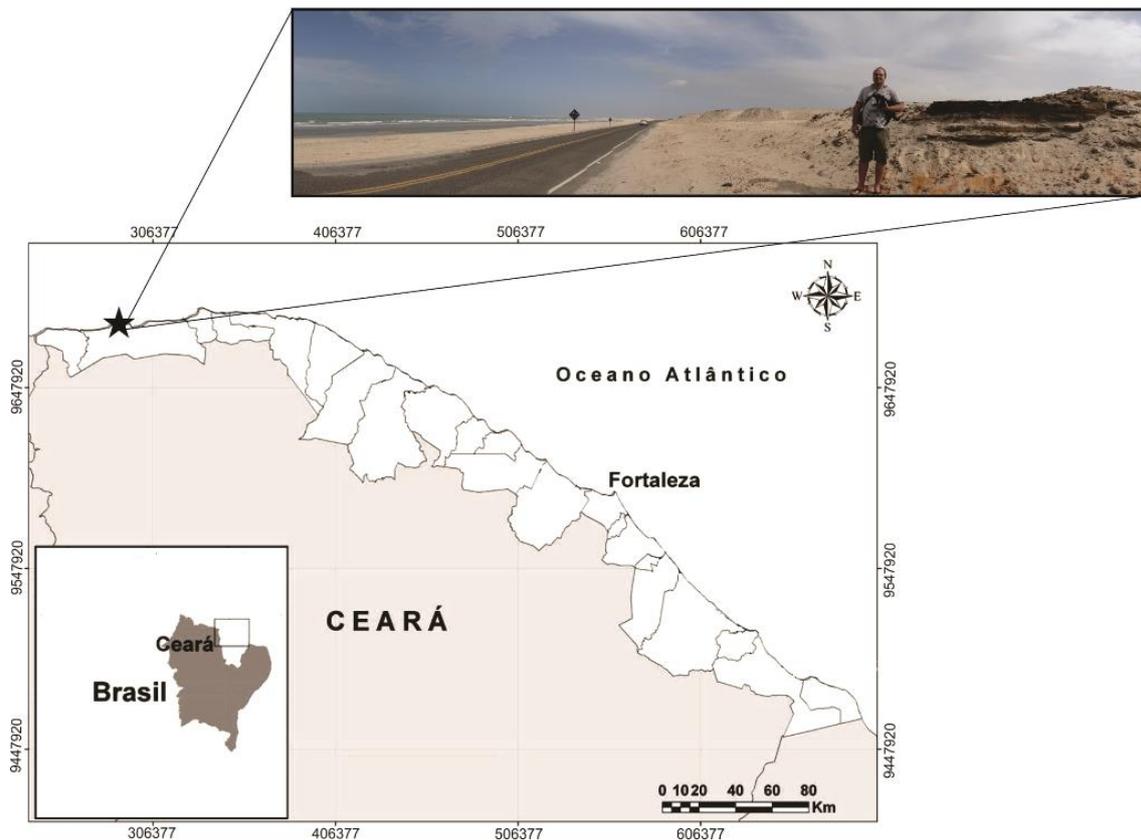
Os eolianitos são uma unidade geológica rara no Brasil, ocorrendo apenas no Nordeste do país. Suas estruturas e composição fornecem dados importantes no que diz respeito à dinâmica eólica e condições climáticas do ambiente costeiro regentes à época de sua formação. Os afloramentos são bastante distinguíveis na paisagem pela sua forma do tipo “yardang” e “zeugen”, ocorrendo de forma descontínua ao longo do litoral. Uma característica marcante dos eolianitos no Estado do Ceará é o excelente estado de conservação de suas estruturas deposicionais internas (CARVALHO *et al.*, 2008), o que é de grande auxílio para interpretações morfodinâmicas remetentes à época de sua gênese. São feições com mediano grau de litificação, o que gera o aspecto ruiforme resultante da erosão eólica e pluvial.

Alguns afloramentos podem apresentar restos vegetais litificados, inicialmente interpretados como raízes, cortando as camadas dos afloramentos ou expostos pela erosão. Apesar de serem registros recorrentes em toda a faixa litorânea onde os eolianitos afloram (CARVALHO *et al.*, 2008, MESQUITA *et al.*, 2016), faltam estudos mais específicos sobre sua natureza e preservação. A análise e estudo aprofundado dessas formas de vida pretéritas da zona costeira, auxiliados por prévios dados geológicos e sedimentológicos, servem como um subsídio para a interpretação de dados paleoambientais e paleohidrológicos, assim como de informações edáficas, permitindo um melhor entendimento das condições ambientais locais.

## Localização e acesso a área

Localizado no noroeste do estado, o Município de Camocim ocupa um área absoluta de 1.124,8 km<sup>2</sup>, distante a 279 km da capital Fortaleza, limitado ao Norte pelo Oceano Atlântico, ao Sul pelo Município de Granja, à Leste por Bela Cruz, Jijoca de Jericoacoara e à Oeste por Barroquinha. Com relevo formado por planícies litorâneas e tabuleiros pré-litorâneos, é intercortado por parte da bacia hidrográfica do Rio Coreaú, cuja foz desemboca em seu litoral (IPECE, 2016). Os afloramentos de eolianitos estão localizados de forma descontínua ao longo da BR-204 que liga a sede de Camocim à praia de Maceió, no litoral oeste do município (Figura 1).

Figura 1. Mapa do litoral cearense mostrando um dos afloramentos de eolianitos encontrados na zona costeira de Camocim, ao lado da BR-204.



Fonte: Modificado de Bezerra e Maia (2012).

## **Objetivos**

### **Objetivo geral**

Objetivou-se com esta pesquisa identificar antigos vegetais através de seus ramos mineralizados e preservados em eolianitos da região costeira de Camocim.

### **Objetivos específicos**

- Identificação e caracterização química dos ramos mineralizados, a fim de determinar de maneira qualitativa e quantitativa a identidade mineral de sua preservação;
- Correlacionar o material litificado com os organismos atuais por meio de anatomia comparada;
- Estabelecer uma relação entre esses vegetais e sua ocupação nesse antigo ambiente costeiro holocênico.

### **Estrutura do trabalho**

A dissertação está organizada em quatro seções, com o objetivo de proporcionar um entendimento e uma sequência lógica do desenvolvimento do trabalho. A primeira seção apresenta a introdução da pesquisa justificando a relevância do tema, expondo os objetivos e a estrutura de organização do conteúdo. Em seguida foi feita uma revisão da literatura sobre o tema, demonstrando os procedimentos técnicos e metodológicos. Essa seção trata dos aspectos introdutórios da pesquisa e deixa clara a linha de desenvolvimento da mesma.

As seções 2 e 3 estão organizadas na forma de artigos, os quais foram submetidos a revistas indexadas na área de Geociências. A escolha desse tipo de organização ocorreu pela possibilidade de uma maior divulgação dos resultados e oferecer uma maior contribuição dos mesmos para sociedade, tornando-os assim instrumentos de ampla acessibilidade por demais pesquisadores e pessoas interessadas pelo assunto.

A segunda seção apresenta o artigo “Caracterização Química de Vegetal Holocênico Mineralizado Procedente de Camocim, Ceará”, submetido na revista de Geologia USP, Série Científica (ISSN 1519-874X). Foi analisada a composição química de cinco amostras através da técnica de espectrometria por dispersão de energia de raios-x (EDS).

Nessa etapa, as características composicionais foram definidas por meio de método quantitativo/qualitativo, com a confecção de gráficos e mapas dos elementos identificados.

A terceira seção contempla o artigo “Registro de Fragmentos Vegetais em Eolianitos Holocênicos da Região de Camocim, Ceará, Nordeste do Brasil”, elaborado para a *Quaternary Science Reviews* (ISSN 0277-3791), sendo transcrito para a língua inglesa. Foi realizado o estudo anatômico de fragmentos tubulares vegetais utilizando quatro critérios gerais como a forma, proporções, preenchimento e relação com o substrato, assim como características morfológicas tanto externas como internas e estruturas citológicas preservadas que possibilitaram a sua identificação ao nível taxonômico de família.

Por fim, na quarta seção, são feitas as considerações finais da dissertação e exposta a bibliografia.

## ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICAS

### Termos técnicos e suas implicações

Marcas de raízes não são incomuns no registro sedimentar. Essas estruturas já foram amplamente observadas e citadas por vários autores em diversas publicações (Tabela 1), porém a sua designação e definição mais utilizada atualmente surgiu com Klappa (1980) que definiu rizólitos como estruturas organossedimentares que preservam atividade de raízes dos vegetais superiores; podem ser o material celular original, substituição mineral ou impregnações minerais que preservam características anatômicas das raízes.

Sarjeant (1975) observou que apesar do abundante registro preservado até então, marcas de raízes e moldes sempre receberam pouca atenção dos geólogos, o que manteve seu potencial paleoambiental pouco explorado durante décadas. Com o avanço da ciência nas áreas relacionadas (Geologia e Biologia) e com o desenvolvimento de novas metodologias, estudos sobre raízes e caules mineralizados, sua interpretação biológica e ecológica já foram realizados nas mais diversas regiões ao redor do mundo (LOOPE, 1986; FLETCHER *et al.*, 2005). Moldes de raízes e troncos de antigas árvores na Nova Zelândia e Ilha Sapelo na Georgia (EUA) foram encontrados associados aos icnofósseis de invertebrados, bem como foi possível traçar sua relação com organismos vegetais atuais (MURRAY *et al.*, 2004); Kraus e Hasiotis (2006) correlacionaram os diferentes modos de preservação de rizólitos para inferir interpretações paleoambientais e paleohidrológicas; Carvalho *et al.*, (2008) notaram a presença de marcas de raízes calcificadas em estratos de eolianitos na costa do Ceará, mas sem um estudo mais aprofundado sobre os táxons; Neto de Carvalho (2011), também constatou a preservação de rizólitos junto a pegadas de vertebrados em eolianitos do Pleistoceno de Portugal; Uchman *et al.*, (2012) estudaram estruturas de raízes associadas a traços fósseis de invertebrados preservados em calcarenitos do sul da Itália.

O termo “rizólito” aparece como uma nomenclatura geral, englobando todo e qualquer resto vegetal preservado que visualmente se assemelhe ao que pode ter sido uma raiz (longos tubos, geralmente verticais, ramificados ou não), podendo estar erroneamente empregado. A generalidade do uso foi utilizada por geólogos durante décadas devido à associação visual a que o material remete: raízes são órgãos vegetais que permanecem soterrados no solo em posição vertical, quase sempre ramificadas, próximas umas das outras. Porém, quando soterradas, outras partes vegetais também podem apresentar este tipo de posição, como os ramos ou caules. Estudos aprofundados são necessários para determinar

essa diferenciação, abordando a morfologia do espécime, suas dimensões e posição encontrada no substrato. Por essa razão, o termo usual “rizólito” não foi considerado durante a realização dessa pesquisa.

Tabela 1. Terminologia associada a rizólitos descritos na literatura desde o seu primeiro registro, no século XIX.

<b>Termo</b>	<b>Autor/ano</b>
<b>Rizomorfo</b>	Northrop (1890)
<b>Rizoconcreção</b>	Kindle (1923, 1925); Sherman e Ikawa (1958); Johnson (1967)
<b>Rizocreção</b>	Kindle (1923, 1925); Steinen (1974); Calvet <i>et. al.</i> , (1975); Ward (1975); Esteban (1976); Harrison (1977)
<b>Madeira petrificada (substituição e impregnação)</b>	Ruth (1927)
<b>Raízes petrificadas</b>	Durand (1949)
<b>Estrutura radicular</b>	Teichert (1950)
<b>Raiz travertinizada</b>	Fairbridge e Teichert (1953)
<b>Concreções calcáreas</b>	Sherman e Ikawa (1958)
<b>Pedotúbulo</b>	Brewer (1964)
<b>Fóssil de mangue</b>	Hoffmeister e Multer (1965)
<b>Dikaka</b>	Glennie e Evamy (1968)
<b>Akkyrshi</b>	Strakhov (1970)
<b>Fósseis tubulares</b>	Valeton (1971)
<b>Moldes de raízes</b>	Read (1974)
<b>Tube de carbonato cristalino (rizopseudomorfo de carbonato)</b>	Bal (1975)
<b>Pedotúbulos</b>	Braithwaite (1975)
<b>Invólucro radicular</b>	Ward (1975)
<b>Estruturas semelhantes a raízes</b>	Amiel (1975)
<b>Estruturas radiculares de plantas terrestres</b>	Perkins (1977)
<b>Rizólitos</b>	Klappa (1980)

Fonte: Modificado de Klappa (1980).

Há também uma grande base de dados sobre a biologia dos vegetais atuais, dinâmicas ecológicas de dunas costeiras e todos os seus fatores ambientais determinantes, desde as suas características geomorfológicas até zonação e sucessão biológica (SCARANO, 2002; ARAÚJO & PEREIRA, 2004; MAUN, 2009; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; MENDONZA-GONZÁLEZ *et al.*, 2014). Novas descobertas continuam acontecendo e o seu desenvolvimento científico cada vez mais aprimorado, o que contribui com a literatura e amplia a base de dados com informações para futuras pesquisas na área.

## A planície flúvio-marinha do Rio Coreaú

De acordo com Morais (2000 *apud* FARRAPEIRA NETO, 2013), durante o período final da última transgressão holocênica, entre 7.000 e 2.000 A.P., a planície costeira do Ceará foi parcialmente destruída, com a submersão da rede de drenagem instalada sobre os então terraços Pleistocênicos. O relevo costeiro e a geomorfologia praiana foram alterados ao longo do tempo, formando e destruindo feições como os leques aluviais e modificando a desembocadura de córregos e riachos. Determinados processos atuaram de forma sazonal entre o Terciário Superior e o Quaternário Holocênico, os quais moldaram os aspectos fisiográficos da região. A conjunção de fatores como fluxos de água subterrânea, fluxos eólicos e cimentação das cristas de dunas por carbonato de cálcio juntamente com processos de sedimentação na plataforma continental contribuíram para a evolução geológica ambiental da região, servindo de base para o atual formato da zona costeira.

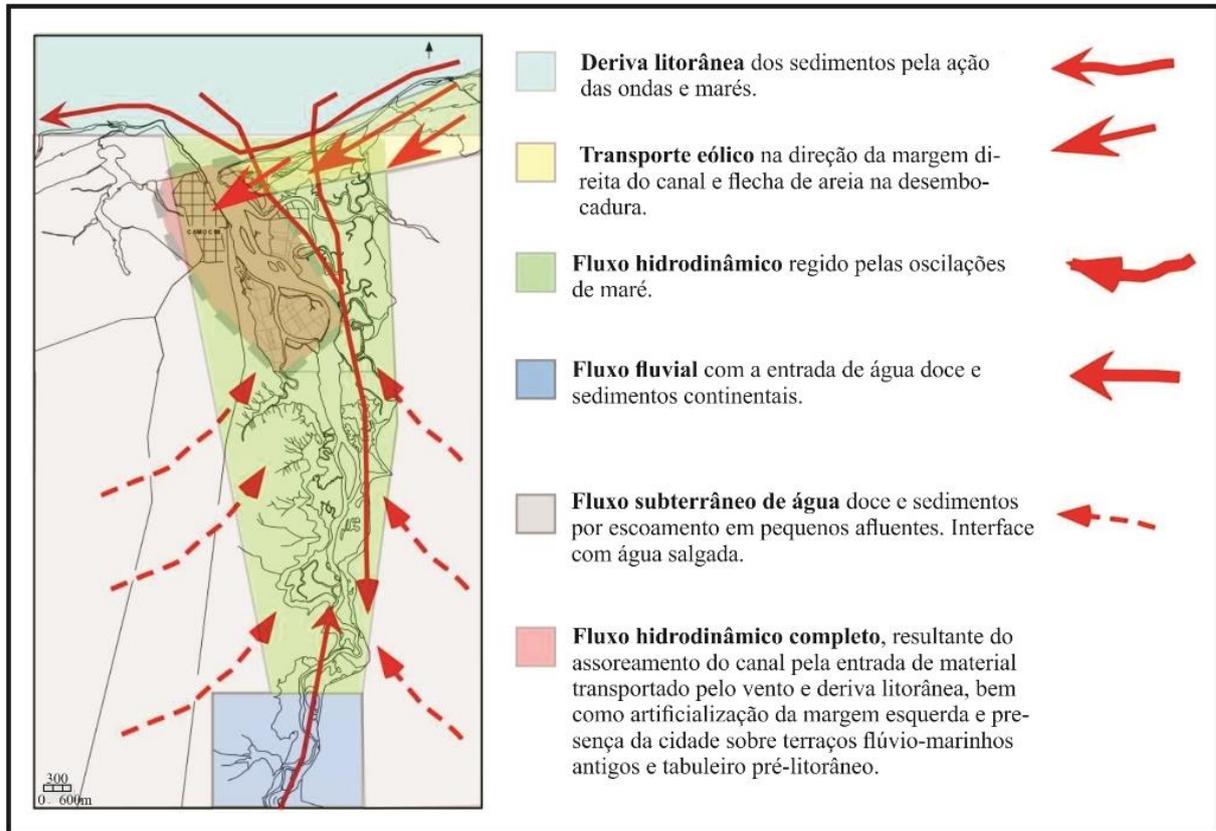
Segundo Colares *et al.* (2016) a configuração sedimentológica do estuário do rio Coreaú apresenta fácies sedimentares de natureza arenosa a argilo-arenosa entre a desembocadura e o limite interno do estuário, o qual apresenta um padrão sedimentológico típico com influência de ondas na foz e de marés ao longo do seu curso. Na área próxima à foz, predominam os sedimentos arenosos, nos quais a granulometria varia de média a grossa com presença de cascalhos litoclásticos esparsos; entre o Porto de Camocim, a Ilha Trindade e a Ilha Grande os registros sedimentares variam de arenosos a areno-lamosos, com as margens predominantemente constituídas por argilas à montante do rio.

Devido à maior competência de drenagem do rio Coreaú, este exerce grande influência na composição sedimentar da plataforma continental interna no litoral oeste de Camocim, sendo formada por areias litobioclásticas até à isóbata – 30m e, de modo geral, apresenta baixo teor de matéria orgânica. Os bioclastos predominam no conteúdo sedimentar, onde foram verificados depósitos superficiais de algas calcárias *Lithothamnium* na plataforma externa adjacente (DIAS *et al.*, 2011).

Durante o período chuvoso, o fluxo hídrico superficial é bastante intenso e carrega uma grande quantidade de sedimentos e nutrientes que eventualmente irão depositar-se no estuário. Os sedimentos finos como silte e argila, aglutinam-se ao entrar em contato com o cloreto de sódio da água do mar e depositam-se nas margens da planície. Já as partículas maiores, como é o caso das areno-quartzosas, tendem a aglomerar-se no leito de escoamento ou são carregadas até o oceano, onde se depositam na praia e são levadas pelos ventos através da ação da deriva litorânea (E – W) (Figura 2), alimentam o campo de dunas à sotamar da

zona estuarina (MEIRELES & VICENTE DA SILVA, 2002).

Figura 2. Principais fluxos de matéria e energia responsáveis pelos processos morfogenéticos ao longo do sistema flúvio-marinho do Rio Coreau, que determinam suas reações ambientais.



Fonte: Modificado de Meireles e Vicente da Silva (2002).

### Contexto geológico regional

Segundo estudos prévios (CARVALHO & MAIA, 1990; MAIA, 1998; CASTRO, 2001; CLAUDINO-SALES, 2002; CARVALHO, 2003) a zona costeira do Estado do Ceará apresenta quatro tipos de depósitos sedimentares de origem eólica (Figura 3):

A primeira geração consiste em paleodunas pleistocênicas sem forma definida, constituídas por areias quartzosas inconsolidadas, com grãos que variam de finos a médios apresentando cor vermelha, localizadas no topo da Formação Barreiras. Possui espessura variável e apresentando um elevado grau de pedogênese com solos bem desenvolvidos. Essa é a geração mais antiga dentre esses depósitos.

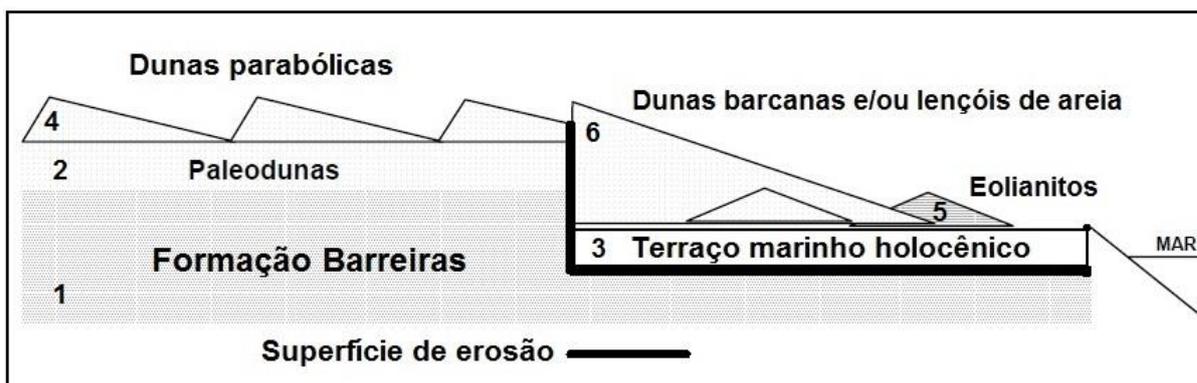
A segunda geração é formada por dunas parabólicas estabilizadas constituídas por areias quartzosas inconsolidadas, variando de bem a moderadamente selecionada com grãos finos a médios, de cor alaranjada ou acinzentada. Possuem uma morfologia característica em

forma de U e V.

A terceira geração de depósitos eólicos constituem os eolianitos, formados por areias quartzosas de grãos finos a médios, de cor variando de cinza a vermelho, podendo ser friáveis ou consideravelmente litificados através da percolação de carbonato de cálcio. Estão posicionados entre o sistema de dunas móveis atual e a planície marinha holocênica.

A quarta geração é constituída por dunas atuais com forma barcanas, barcanóides e lençóis de areia, formadas por areias quartzosas de grãos finos a médios. Essas dunas estão em constante movimentação pela dinâmica sedimentar, se deslocando sobre o topo das feições mais antigas. Pode-se compreender que estas quatro gerações de depósitos eólicos estariam associadas a flutuações do nível do mar durante o Quaternário, desde o Pleistoceno ao Recente.

Figura 3. Modelo estratigráfico das gerações de dunas registradas na costa do Ceará, mostrando a sequência das feições geomorfológicas costeiras da mais antiga (1) a mais recente (6).



Fonte: Modificado de Maia (1998).

### Diagnose de raízes e caules preservados no registro sedimentar

As estruturas e padrões produzidos por raízes no substrato indicam atividade de vida e comportamento ao longo da vida do vegetal (SARJEANT, 1975). Esses padrões indicam a busca por água, absorção de minerais e nutrientes e a consistência do substrato no qual elas penetram (PFEFFERKORN & FUCHS, 1991), sendo bastante úteis para delinear perfis hidrológicos no registro geológico (KRAUS & HASIOTIS, 2006).

Por meio dos seus caules, ramos e raízes as plantas produzem padrões no substrato cujas formas podem variar de raso a profundo; simples ou complexos; espessos ou dispersos; tubulares, afunilados, retilíneos ou oblíquos (ODUM, 1971; RETALLACK, 2001). Se os espécimes preservados são considerados fósseis corporais, o Código Internacional de

Nomenclatura Botânica (CINB) permite a identificação dessas partes anatômicas como táxons (MCNEILL *et al.*, 2011).

Uma das dificuldades que podem ser encontradas ao se estudar amostras vegetais mineralizadas é que, dependendo da porção preservada, esta pode ser confundida com outros tipos feições. Plantas podem produzir traços no sedimento similares àqueles atribuídos a animais, sendo assim frequentemente confundidos com icnofósseis de invertebrados. Murray *et al.*, (2004) listou seis critérios descritivos como uma forma de verificação para relacionar estruturas tubulares com ramos vegetais:

- (1) diâmetros inconsistentes dentro do mesmo comprimento, que são especialmente notáveis pelo seu afunilamento;
- (2) ramificações secundária e terciária, mostrando o afunilamento distal típico em cada ramo sucessivo;
- (3) dicotomia, ramificações em forma de “Y” onde as junções não apresentam alargamento;
- (4) orientação para baixo (no caso das raízes), vertical a oblíquo (com algumas exceções baseadas nas respostas da planta ao tipo de substrato fixado);
- (5) ausência de preenchimento ativo ou a presença de preenchimento passivo, proveniente dos sedimentos das camadas superiores;
- (6) material vegetal carbonizado nas estruturas (é preciso notar que alguns traços de invertebrados contem material vegetal que foi “estufado” dentro do tubo por preenchimento passivo).

Embora nem todos esses critérios possam ser sempre verificados nas descrições de algum material, existem dois que são os mais utilizados na diagnose e diferenciação dos traços: ramificação dicotômica com afunilamento distal, sem alargamento nas junções dos ramos.

Outro problema que pode ser encarado ao se estudar esse tipo de material está relacionado à identificação anatômica da porção preservada. Raízes e caules tornam-se semelhantes externamente após a mineralização e durante esta etapa os detalhes mais delicados dos tecidos orgânicos podem ser perdidos, restando apenas um tubo sólido de aparência uniforme; também por possuírem dois tipos diferentes de gravitropismo (negativo e positivo) – onde a combinação de hormônios específicos (auxinas) e estímulos externos (gravidade, luz unilateral, toque e gradientes de umidade) fazem a planta crescer na mesma direção, mas em sentidos opostos (raízes para baixo e caules para cima) (CORRELL & KISS, 2002; MONSHAUSEN *et al.*, 2008; MOULIA & FOURNIER, 2009) – fica difícil identificar a qual parte morfológica pertence aquele material em estudo, especialmente levando em conta

que após o crescimento secundário, ou seja, o crescimento em espessura realizado pelos tecidos meristemáticos laterais, a definição do órgão vegetal se torna mais complicada. Características anatômicas observadas nos vegetais atuais, comportamento e hábito auxiliam a identificação e provável definição do organismo dentro de uma classificação atual.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O método da pesquisa esteve baseado, principalmente, na observação direta do material *in situ*, em laboratório e em análises microscópicas das amostras coletadas. A interpretação dos fenômenos geológicos e biológicos envolvidos lança mão dos princípios gerais da Biologia, Ecologia e Paleontologia, tais como: anatomia e comportamento vegetal, sucessão biológica e uniformitarismo. As interpretações levaram em consideração a tafonomia e as possíveis características adaptativas observadas nos espécimes.

Para atender aos objetivos, a metodologia esteve combinada em quatro etapas descritas a seguir:

### **Etapa I: Levantamento Bibliográfico**

Para obter informações sobre a biologia da flora de restinga e sobre ecologia e desenvolvimento de comunidades vegetais litorâneas e de Camocim, foram consultadas literaturas especializadas como periódicos científicos nacionais e internacionais, revistas, artigos e mapas. Esta etapa da pesquisa estabeleceu o embasamento teórico sobre o assunto, atualizando o Estado da Arte. Também foi feita pesquisa sobre a geologia costeira e os eolianitos no Ceará.

### **Etapa II: Pesquisa de Campo**

No dia 10 de março de 2016 foi realizada uma missão de campo na região costeira de Camocim onde foram visitados 3 pontos: o primeiro na Ilha do Amor, uma região atual de restinga localizada à margem direita do Rio Coreauú, onde foram coletadas plantas atuais utilizadas para estudo de anatomia comparada. No segundo ponto localizado a 7 km do Lago Seco, distante alguns metros da margem esquerda da BR-204 em direção à praia de Maceió, no lado oeste do município, os eolianitos exibiram grande abundância de material o qual foi devidamente coletado, tanto ao redor como do flanco dos afloramentos. O terceiro ponto, na

margem direita da BR-204 também em direção oeste do município, onde não foram realizadas coletas devido a pouca abundância e dificuldade de remoção sem comprometer a integridade das amostras expostas, mas ainda fixadas dentro das camadas de arenito.

Foram observadas e registradas informações sobre a fitogeografia local, as quais foram comparadas com os dados encontrados em literatura disponível, a fim de corroborar ou não sua compatibilidade.

### **Etapa III: Pesquisa de Laboratório**

O material mineralizado foi encaminhado para o Laboratório de Paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), onde se juntou a outras amostras já coletadas anteriormente em missões de campo precedentes ao início desta pesquisa. Todas as amostras passaram pelo processo de limpeza mecânica, posteriormente sendo impermeabilizadas com verniz acrílico diluído em 50% de água, aplicado com o auxílio de pincéis e borrifadores (Figura 4). Em seguida receberam um número de tombo, sendo incluídas na coleção científica do Museu Dom José (MDJ).

Essa etapa do estudo esteve baseada principalmente na observação direta do material coletado, assim como em dados ecológicos de comunidades vegetais de restingas dos quais seus indivíduos também serviram como apoio para comparação de características anatômicas, de acordo com a literatura especializada. Os exemplares foram medidos e analisados quanto às proporções de diâmetro e comprimento; à forma, ao preenchimento e relação com o substrato/transporte. As interpretações ambientais levaram em consideração os hábitos vegetais e seus processos de adaptação, tipo de substrato e clima.

Nove amostras foram preparadas e destinadas a Central Analítica da UFC para análises de espectrometria de dispersão de raios-X (EDS) junto com a microscopia eletrônica de varredura (MEV), métodos utilizados para caracterização química de materiais e análise de superfícies em escalas microscópicas.

Figura 4. Laboratório de Paleontologia onde as amostras passaram por limpeza e impermeabilização.



Fonte: Arquivo do LABOPALEO.

#### **Etapa IV: Tratamento dos Dados**

Os dados obtidos com o desenvolvimento das etapas anteriores foram analisados, quantificados, comparados e tabulados o que gerou subsídios para a organização de gráficos e tabelas, confecção de modelos e tratamento das imagens. Os programas utilizados ao longo desta etapa foram *Corel Draw X7* e *Power Point 2010*.

## DESCRIÇÃO DOS AFLORAMENTOS

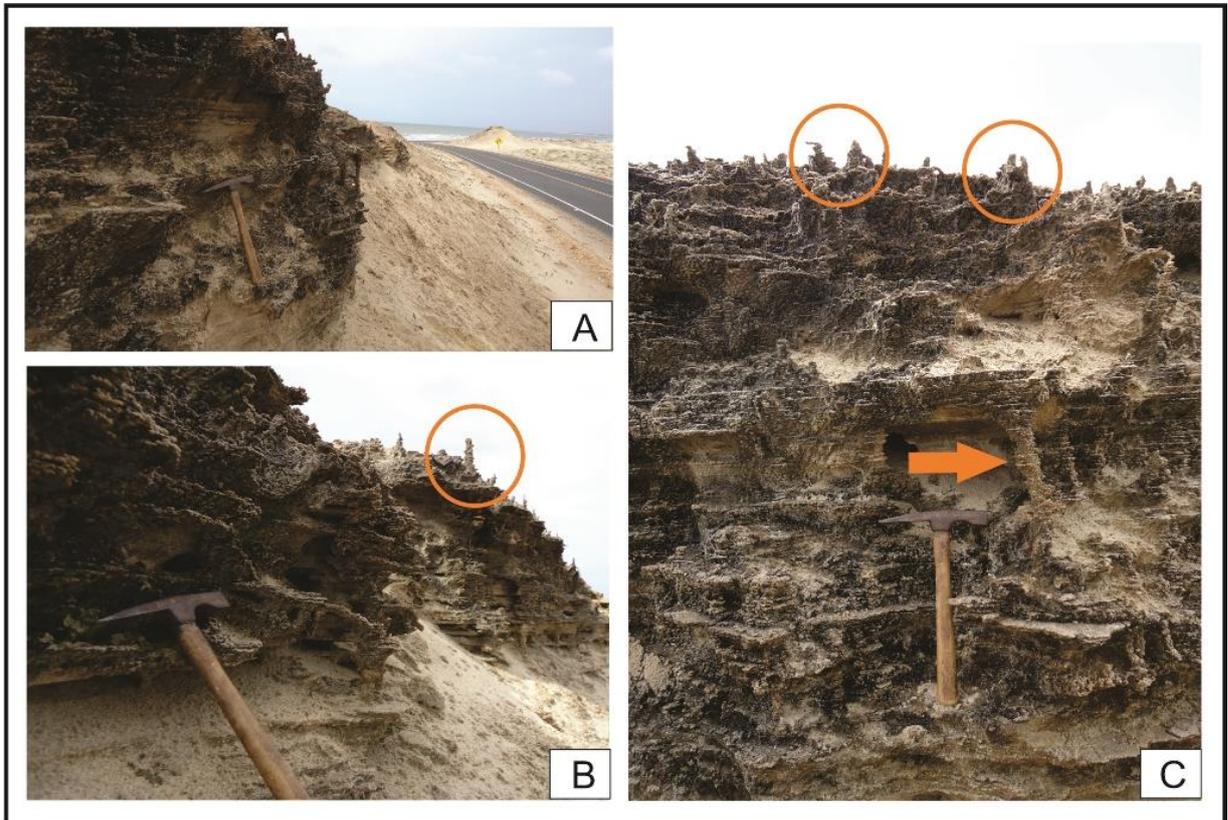
Referente aos eolianitos de Camocim, estes exibem características semelhantes a outras ocorrências no Ceará. No primeiro afloramento visitado ( $02^{\circ} 52' 34.0''$  S /  $040^{\circ} 55' 32.4''$  W), os pacotes apresentam-se com continuidade visível em 70 cm de espessura, sendo na base arenito fino a médio, laminação plano-paralela e com a presença de poucos tubos verticais de calibre baixo a médio, com cerca de 20 cm de comprimento, o restante do pacote apresenta ramos oblíquos, verticais e subhorizontalizados de calibre variado (Figura 5). Já no segundo ( $02^{\circ} 52' 30.7''$  S /  $040^{\circ} 56' 42.8''$  W), os pacotes possuem aproximadamente 2 m de espessura, com intercalações de superfícies de cerca de 2 mm com arenitos grossos que separam camadas de arenitos um pouco mais finos de cerca de 4 cm. As camadas de arenito mais grosso são mais endurecidas do que as de grânulos menores. Os tubos vegetais expostos entre as camadas parcialmente erodidas possuem de 0,5 a 4 cm de diâmetro e de 5 a 35 cm de comprimento (Figura 6).

Figura 5. Afloramento de onde o material dessa pesquisa foi coletado, distante alguns metros da margem esquerda da BR-204, em direção à praia de Maceió. As setas apontam alguns tubos mineralizados expostos pela erosão eólica.



Fonte: Autor.

Figura 6. A: Afloramento localizado na margem direita da BR-204, em direção à praia de Maceió. B e C: É possível observar a presença de alguns tubos mineralizados expostos no topo e cortando as camadas do arenito frível, indicados por círculos e setas.



Fonte: Autor.

## **2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE VEGETAL HOLOCÊNICO MINERALIZADO PROCEDENTE DE CAMOCIM, CEARÁ**

### **RESUMO**

Este estudo teve como foco a análise e identificação da composição química de restos vegetais mineralizados por soterramento, presentes em eolianitos, oriundos da zona litorânea de Camocim, a fim de determinar de maneira qualitativa e quantitativa a identidade mineral na qual esses materiais foram preservados. As análises químicas foram feitas a partir da técnica EDS em microscópio eletrônico, sendo considerado um método qualitativo e semi-quantitativo. Cinco amostras foram preparadas de acordo com as normas de utilização da Central Analítica do curso de Física da Universidade Federal do Ceará, onde as análises foram realizadas. Os resultados mostram que as cinco amostras não apresentaram variações significativas entre suas composições químicas, sendo essencialmente formadas por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que constitui mais de 90% da composição de cada amostra. Elementos traço como Magnésio, Silício, Alumínio, Cloro e Bromo também foram identificados. A presença desses elementos pode estar relacionada à diversa origem diagenética composicional dos sedimentos depositados no litoral da região.

**Palavras-chave:** Eolianitos. Zona costeira. Ceará. Holoceno.

### **ABSTRACT**

This research focuses on the analysis and identification of chemical composition of mineralized plants remains by burial, present in eolianites, from the Camocim coastal zone, in order to define qualitative and quantitative ways of the materials mineral identity was preserved. The chemical analyses were made by EDS technique in electronic microscope, a qualitative and semi-quantitative method. Five samples were prepared following the Physics degree's Central Analítica utilization norms of Universidade Federal do Ceará, where analyses were made. Results reveal that five samples didn't show significant variations between its chemicals compositions, being primarily made of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), which compose more than 90% of composition in each sample. Trace elements like Magnesium, Silicon, Aluminum, Chlorine and Bromine were present as well. The presence of these elements may be related to diverse diagenetic compositional origin of deposited sediments at the coastland.

**Keywords:** Eolianites. Coastal zone. Ceará. Holocene.

## **INTRODUÇÃO**

Dunas são feições que estão em constante estado de mudança, sendo construídas e destruídas pela ação do vento (ROGERS & NASH, 2003). São formadas por sedimentos granulares de diferentes tamanhos e origens, às vezes com a presença de restos esqueléticos (conchas, fragmentos de corais) que durante a sua evolução geológica podem ser cimentados e/ou solidificados. Como resultado desse endurecimento, são formadas estruturas geológicas chamadas eolianitos, que segundo Sayles (1931) é toda rocha sedimentar cuja deposição foi controlada pela ação do vento. No lado oeste do município de Camocim, Estado do Ceará, os eolianitos surgem de forma descontínua ao longo da costa, ganhando destaque na paisagem devido a sua forma característica de “morro”. Nesses afloramentos, cortando as camadas arenosas, ocorre a presença de porções vegetais mineralizadas.

Os sedimentos recentes que constituem a zona litorânea de Camocim possuem diferentes origens diagenéticas, sendo o resultado da desagregação de vários tipos de rochas e bioclastos marinhos. Devido à grande influência de carga do estuário do Rio Coreaú, combinada à direção dos ventos alísios e a processos da hidrodinâmica marinha local, além de uma corrente de transporte sedimentar sentido E-W são responsáveis pela deposição de sedimentos nas praias ao largo oeste do município (FARRAPEIRA NETO & MORAIS, 2014).

O presente estudo teve como objetivo a análise e identificação da composição química de restos vegetais mineralizados por soterramento, oriundos da zona litorânea de Camocim onde há uma intensa dinâmica e sistema de sedimentação ativo, a fim de determinar de maneira qualitativa e quantitativa a identidade mineral na qual esses materiais foram preservados.

## **ESPECTROMETRIA POR DISPERSÃO DE ENERGIA DE RAIOS-X (EDS)**

As análises químicas feitas a partir da técnica EDS são geradas por um feixe de elétrons que ao incidir sobre a amostra, interagem com os elementos químicos da sua superfície, produzindo fótons de raios-x nos quais os comprimentos de onda são distintos para cada elemento atingido pelos elétrons no ponto de incidência. Isso nos permite saber em

instantes qual elemento químico está sendo observado. Os sinais produzidos pelo choque do feixe com a amostra são captados e seus dados convertidos em gráficos na forma de espectros do alcance de energia em função da intensidade dos picos (CHINAGLIA & CORREA, 1997; AGUIAR, 2014). É uma técnica que tem como padrão as energias de cada um dos elementos. Seu software já vem com calibrações eletrônicas para alguns dos elementos espalhados na faixa espectral e a partir delas automaticamente são feitas quantificações de toda a tabela, sendo assim considerada uma técnica qualitativa e semi-quantitativa.

A utilização conjunta do EDS com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) possui grande relevância e auxílio nos estudos e caracterização petrográfica nas Geociências, uma vez que a técnica fornece a imediata identificação química além de imagens da distribuição espacial dos elementos químicos nas amostras analisadas, gerando modelos ou mapas composicionais.

## **RELEVÂNCIA DO REGISTRO VEGETAL NO CONTEXTO AMBIENTAL**

A zona próxima à praia é uma área de alto estresse para as plantas que ali vivem. O vento que sopra constantemente, as altas temperaturas, a intensa insolação e água salina são alguns dos fatores que influenciam a ocupação vegetal nessa região. A forma e evolução das dunas são altamente influenciadas pela morfologia e hábitos de crescimento da vegetação que a coloniza, isso se dá pela capacidade adaptativa dessas plantas a vários tipos de perturbações – como soterramento, vento carreando areia e erosão pelas ondas – e fatores que inibem o crescimento como a maresia, altas temperaturas, nível de umidade e a falta de nutrientes (RANWELL, 1972; PACKHAM & WILLIS, 1997).

A presença de restos de plantas mineralizados *in situ* em sedimentos antigos é um importante fator para interpretação ambiental, sugerindo que tal localidade já teve condições ambientais capazes de suportar vida vegetal complexa no passado, permitindo inferir quais foram tais condições e se ainda prevalecem nos dias atuais. Qualquer comunidade vegetal de uma duna ou um complexo é o resultado da interação entre a tolerância das espécies, o substrato arenoso e os fatores abióticos que regem o ambiente (MAUN, 2009). Espécies como gramíneas, ciperáceas ou trepadeiras são as primeiras a colonizarem um ambiente perturbado ou destituído de vida. Em ambientes costeiros a colonização vegetal ocorre também nas dunas que depois de estabilizadas por vegetais pioneiros, tornam-se locais habitáveis para plantas mais frondosas, como subarbustos ou arbustos (SCARANO, 2002; ARAÚJO & PEREIRA, 2004). Dessa forma, a comunidade vegetal assume o papel de indicador biológico ambiental,

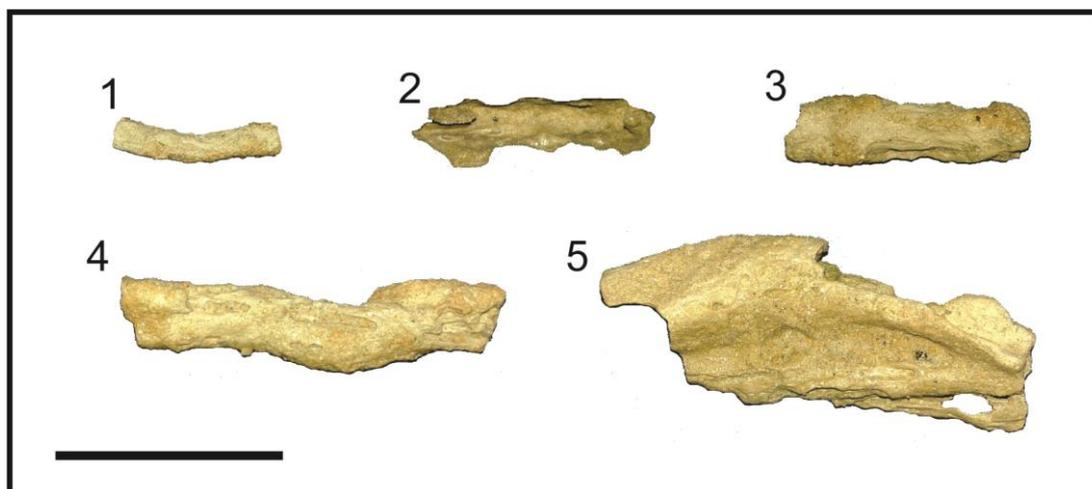
fornecendo valiosas informações sobre o clima, temperatura e solo (GUREVITCH *et al.*, 2009).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, todas as amostras coletadas em Camocim foram limpas e analisadas com estereomicroscópio no Laboratório de Paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú, onde estão temporariamente abrigadas. Posteriormente, serão depositadas e catalogadas na Coleção de Recentes na seção de paleontologia do Museu Dom José.

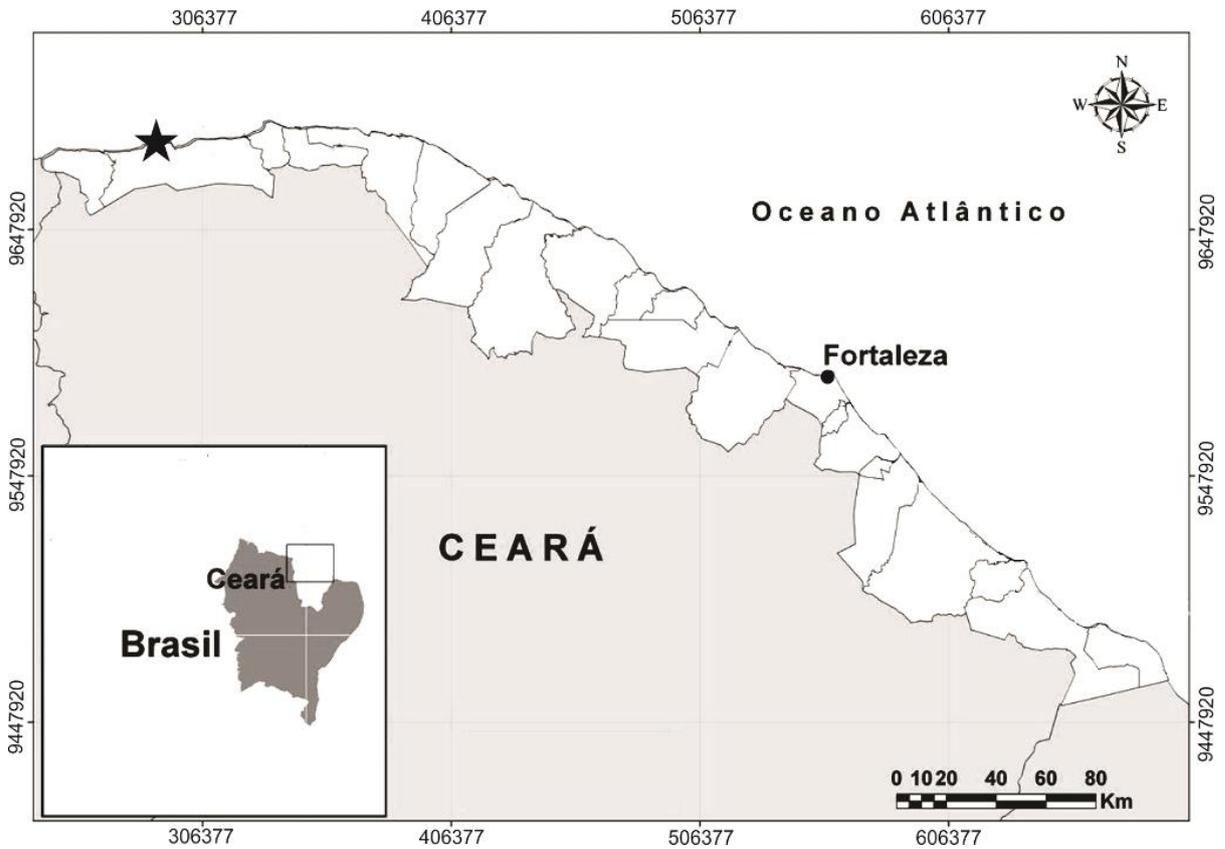
As cinco amostras analisadas fazem parte do material vegetal mineralizado (Figura 7) coletado nos eolianitos do litoral oeste do município de Camocim ( $02^{\circ} 52' 34.0''\text{S}/040^{\circ} 55' 32.4''\text{W}$ ) (Figura 8). O material selecionado foi fragmentado com a ajuda de cinzel e martelo leves até no máximo um centímetro de comprimento a fim de obedecer aos critérios de utilização do MEV. Esse procedimento foi necessário devido ao médio grau de litificação das amostras, difíceis de serem fragmentadas sem o uso de ferramentas. Em seguida ocorreu a preparação de acordo com as normas de utilização da Central Analítica do curso de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde as análises foram realizadas. Os fragmentos com no máximo 1 cm de largura foram adequadamente montados em *stubs* e levados à metalização em ouro, a vácuo, para evitar a acumulação de carga elétrica do feixe primário de elétrons e a geração de artefatos na imagem durante a visualização, além de melhorar o nível de emissão de elétrons secundários. Por fim, o material foi observado no aparelho *Inspect 50*, o qual conta com apoio do acessório EDS.

Figura 7. Amostras antes da preparação, as quais foram submetidas as análises de EDS. Escala: 5 cm.



Fonte: Autor.

Figura 8. Mapa do litoral cearense mostrando o ponto de origem das amostras, na zona costeira de Camocim.

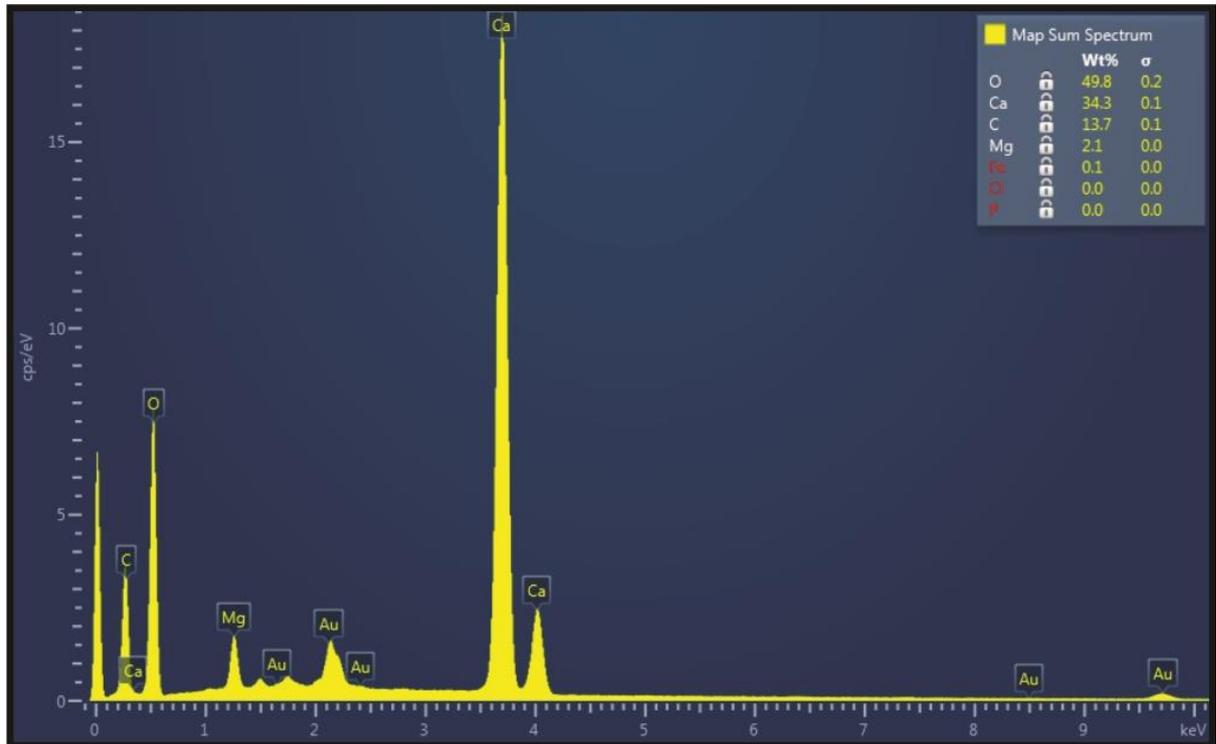


Fonte: Modificado de Bezerra e Maia (2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

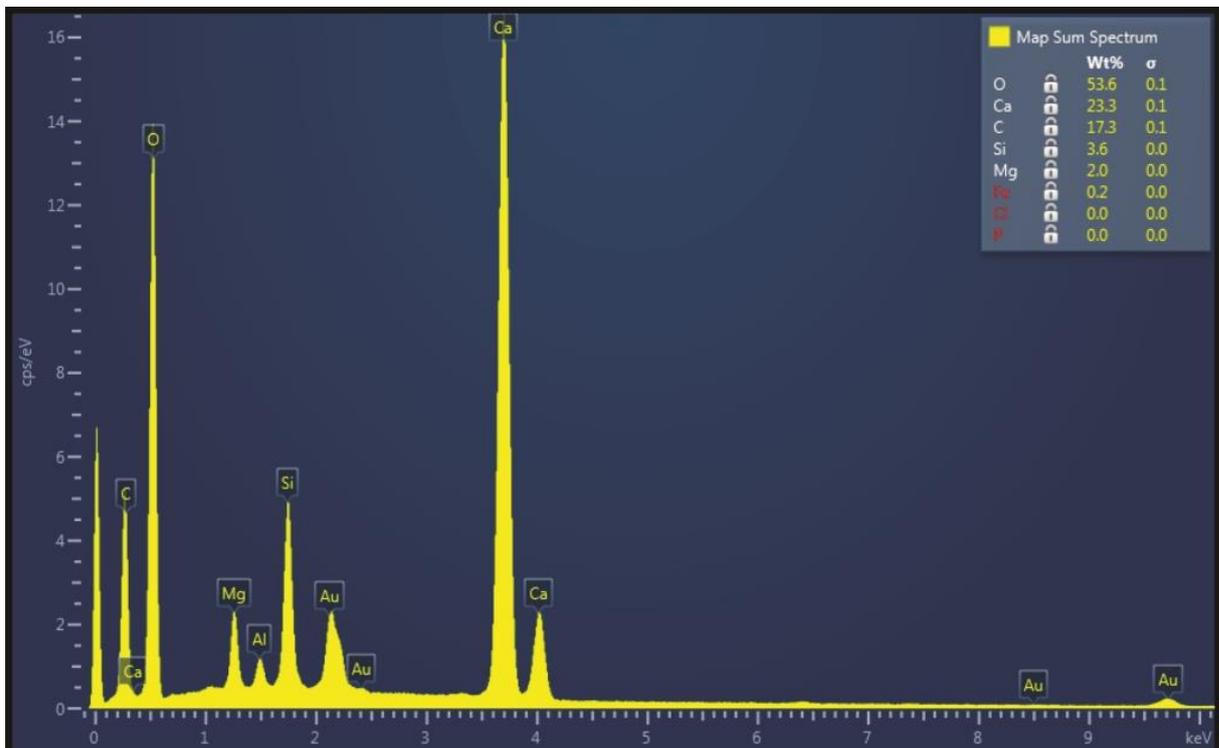
Foram gerados cinco gráficos, com os eixos cartesianos na forma do espectro relativo ao número de contagens e alcance dos picos (cps/eV) em função da energia (keV) dos elementos químicos identificados em cada amostra (Figuras 9 a 13). A porcentagem em peso de cada elemento é exibida em **wt%**, enquanto a margem de erro é expressa pela letra  $\sigma$  (sigma minúsculo). O elemento Ouro (Au) presente em todas as amostras é proveniente do processo de metalização do material e não faz parte da sua composição original.

Figura 9. Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 1. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro).



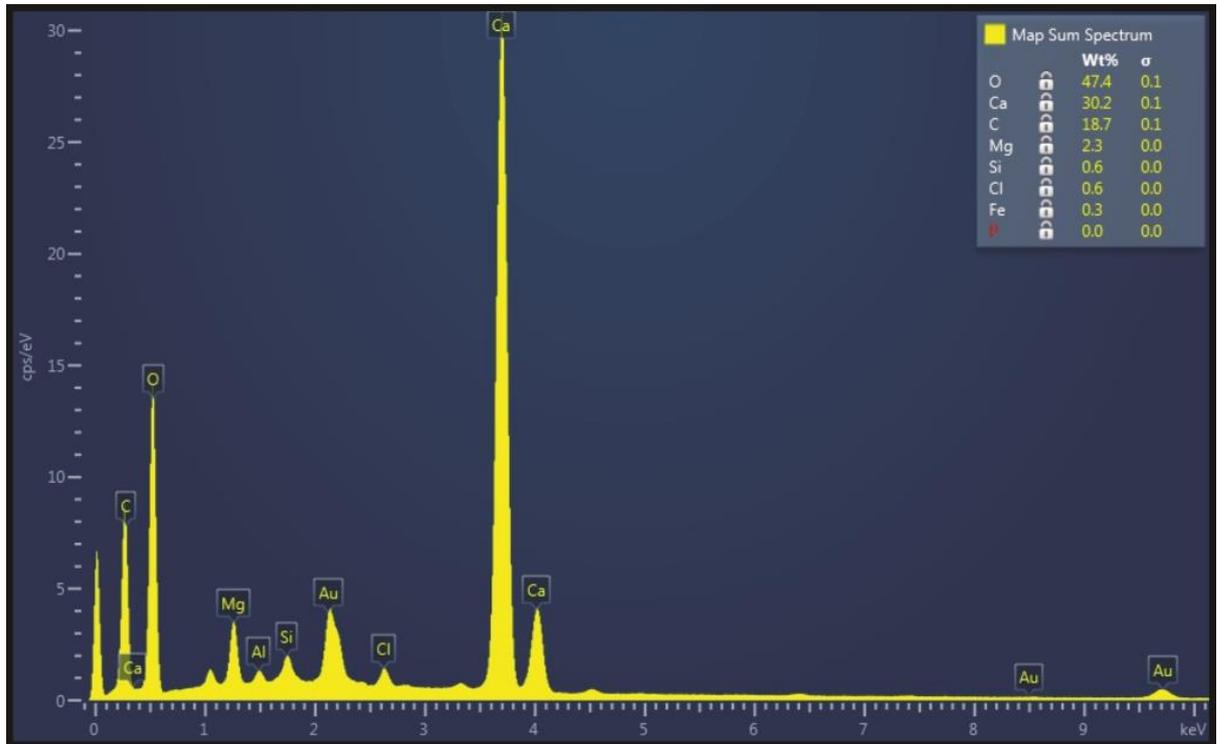
Fonte: Autor.

Figura 10. Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 2. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro).



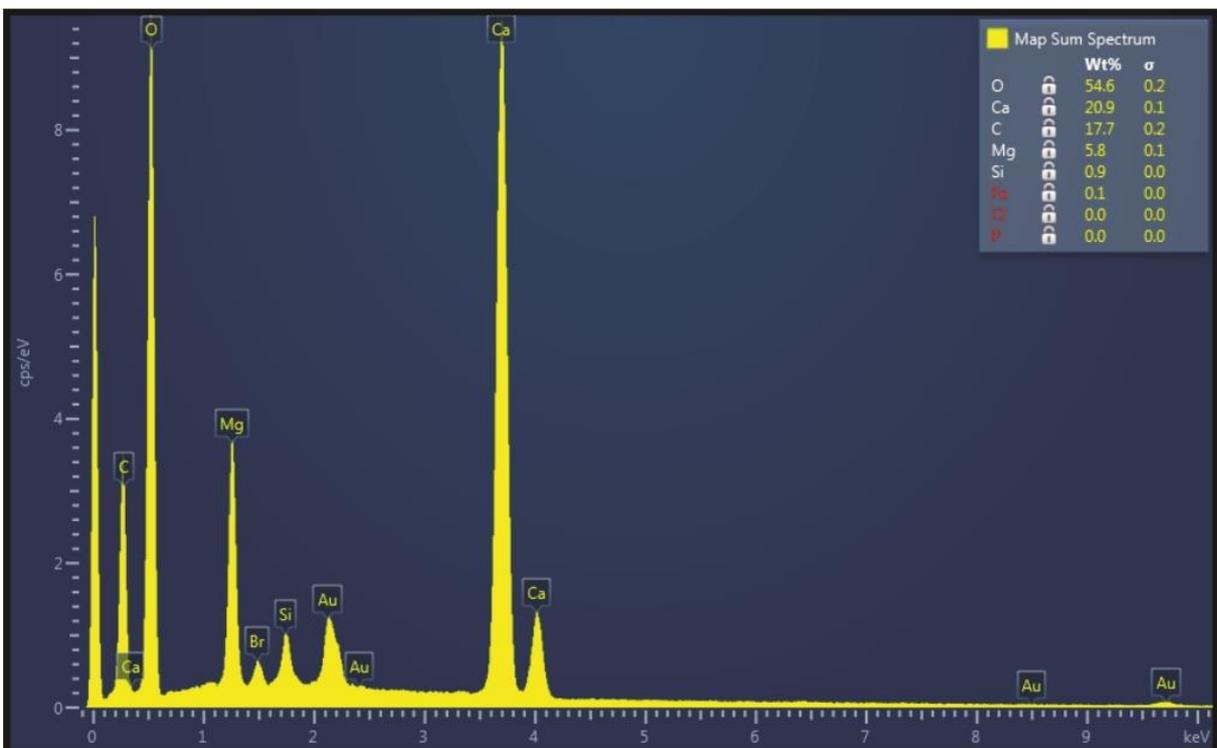
Fonte: Autor.

Figura 11. Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 3. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro).



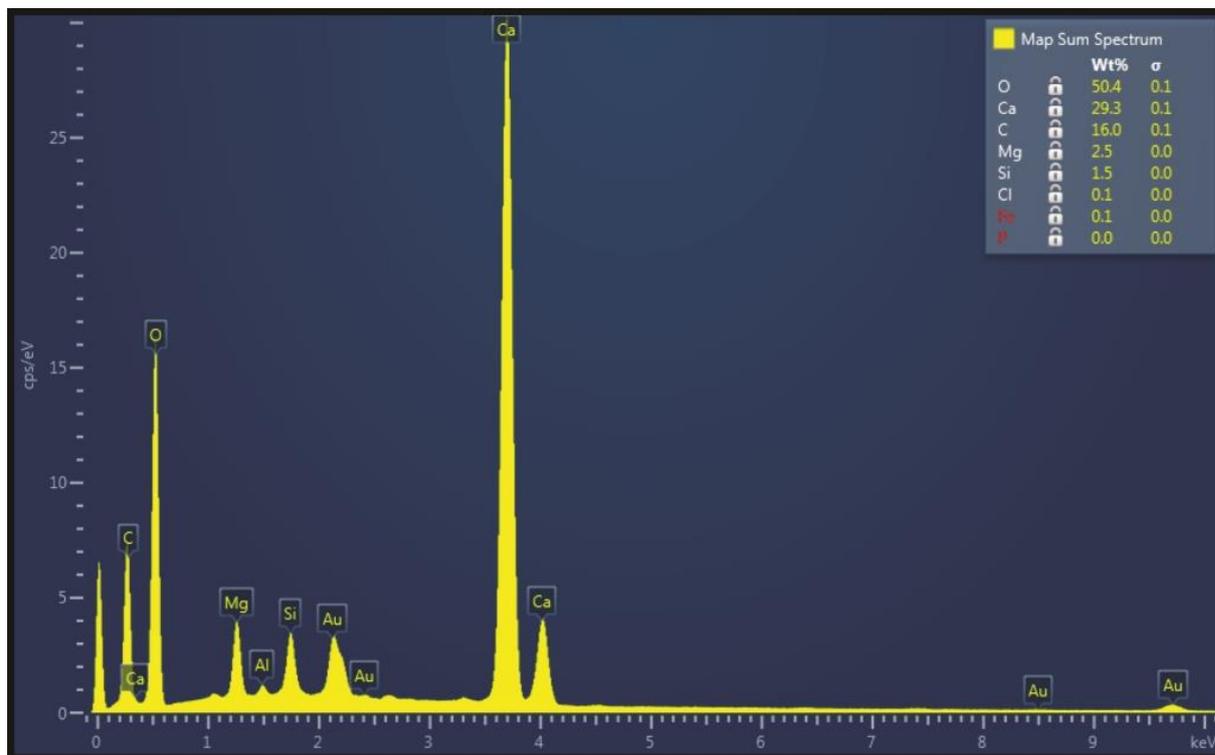
Fonte: Autor.

Figura 12. Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 4. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro).



Fonte: Autor.

Figura 13. Gráfico mostrando o espectro dos elementos químicos identificados na amostra 5. (wt%: porcentagem em peso;  $\sigma$ : margem de erro).



Fonte: Autor

Nove elementos químicos foram identificados (Cálcio, Oxigênio, Carbono, Magnésio, Silício, Alumínio, Cloro, Bromo e Ferro) em diferentes quantidades distribuídos entre as cinco amostras (Tabela 2). Oxigênio, Cálcio e Carbono foram os mais representativos, juntos formando mais de 90% da composição de cada amostra. Não houve grande discrepância entre as concentrações de Magnésio, flutuando entre 2,0 e 2,5%, porém com uma variação de 5,8% na amostra 4; a amostra 1 foi a única onde não foi constatada a presença de Silício. As porcentagens de Alumínio, Bromo e Ferro não puderam ser mensuradas na legenda dos mapas espectrais devido as suas baixas concentrações, surgindo apenas como elementos traço.

Tabela 2. Concentração percentual dos elementos químicos identificados nas cinco amostras.

Amostras	Porcentagem semi-quantitativa de elementos (%)								
	O	Ca	C	Mg	Si	Al	Cl	Br	Fe
Amostra 1	49,8	34,3	13,7	2,1	0	0	0	0	0,1
Amostra 2	53,6	23,3	17,3	2,0	3,6	0	0	0	0,2
Amostra 3	47,4	30,2	18,7	2,3	0,6	0	0,6	0	0,3
Amostra 4	54,6	20,9	17,7	5,8	0,9	0	0	0	0,1
Amostra 5	50,4	29,3	16,0	2,5	1,5	0	0,1	0	0,1

Fonte: Autor.

As grandes concentrações de Oxigênio, Cálcio e Carbono, presentes na forma de carbonato de cálcio ( $C_aCO_3$ ), estão diretamente relacionadas a composição sedimentar da plataforma continental interna do litoral oeste do município de Camocim, formada por areias litobioclásticas até à isóbata – 30m; restos de corais, conchas de moluscos e depósitos superficiais de algas calcárias do gênero *Lithothamnium* são alguns dos bioclastos predominantes na plataforma externa adjacente (DIAS *et al.*, 2011).

A discrepância nas concentrações de Silício deve-se provavelmente ao fato de que este é um elemento relativamente inerte e pouco solúvel, proveniente dos sedimentos areno-quartzosos transportados pela descarga hídrica do rio Coreau, carregados até o oceano e depositados na praia pelos ventos através da ação da deriva litorânea (E – W) (MEIRELES & VICENTE DA SILVA, 2002). Essa grande competência de drenagem do rio Coreau, carregando sedimentos continentais de diferentes origens diagenéticas, exerce grande influencia na constituição sedimentológica do litoral oeste de Camocim, explicando a presença de elementos traço como Magnésio, Cloro e Ferro.

## CONCLUSÕES

As cinco amostras não apresentaram variações significativas em sua composição química, sendo essencialmente formadas por carbonato de cálcio ( $C_aCO_3$ ), que constitui mais de 90% da composição total de cada amostra. Esse carbonato é proveniente da dissolução dos bioclastos que compõem os sedimentos da região, com a presença de algas calcárias do gênero *Lithothamnium*. A presença de Magnésio, Silício e de outros elementos associados (Al,

Cl, Br e Fe) em concentrações menores e irregulares pode estar relacionado à diversa origem diagenética composicional dos sedimentos depositados no litoral da região, basicamente uma mistura de partículas continentais – carregadas até a costa pelo Rio Coreaú – e fragmentos bioclásticos marinhos (restos de conchas calcárias e corais) de diferentes tamanhos, e que são, provavelmente, a principal origem do carbonato mineralizado nos restos vegetais, retrabalhado.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. E. **Contribuição ao estudo da mineralogia de sedimentos na plataforma continental dos Estados do Ceará, Piauí e Maranhão através da microscopia analítica SEM/EDS**. Instituto de Ciências do Mar-LABOMAR/UFC, Tese de Doutorado, Fortaleza, 173p. 2014.
- ARAÚJO, D. S. D.; PEREIRA, M. C. A. **Sandy coastal vegetation**. In: Encyclopedia of Life Support Systems. Oxford, UK: Developed under the auspices of the United Nations Education, Scientific, and Cultural Organization, Eolss Publishers. <http://www.eolss.net/ebooks/Sample%20Chapters/C20/E6-142-TB-08.pdf>. 2004.
- BEZERRA, L. J. C.; MAIA, L. P. **Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do Estado do Ceará**. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, 45 (1): 47-55. 2012.
- CHINAGLIA, C. R.; CORREA, C. A. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. CCDM-Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 19-23. 1997.
- DIAS, C. B.; BARROS, E. L.; MORAIS, J. O. **Granulados marinhos na plataforma continental N/NE do Brasil: ensaio metodológico**. Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios - Rio de Janeiro. III Encontro do Quaternário Sul-Americano. v 1, n, 1. p. 168-171. 2011.
- FARRAPEIRA-NETO, C. A.; MORAIS, J. O. **Evolução da linha de costa do município de Camocim, Ceará, Brasil**. Revista Casa da Geografia de Sobral, 16 (2): 101-114. 2014.
- GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia Vegetal**, 2ª ed. Artmed, Porto Alegre. 592 p. 2009.
- MAUN, M. A. **Plant communities**. In: MAUN, M. A. (Ed). The Biology of Coastal Sand Dunes. Oxford University Press. p. 164-180. 2009.
- MEIRELES, A. J. A.; VICENTE, S. E. **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, Universidad de Barcelona, 6(118). 2002.

PACKHAM, J. R.; WILLIS, A. J. **Ecology of Dunes, Salt Marsh and Shingle**. Chapman and Hall, London, 334 p. 1997.

RANWELL, D. S. **Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes**. Chapman and Hall, London, 258 p. 1972.

ROGERS, S.; NASH, D. **The Dune Book**. North Carolina Sea Grant, September, 28 p. 2003.

SCARANO, F. R. **Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest**. *Annals of Botany*. 90: 517-524. 2002.

SAYLES, R.W. **Bermuda during the ice age**. *Proc. Acad. Arts. Sci.* 66:381-486. 1931.

### **3 REGISTRO DE FRAGMENTOS VEGETAIS EM EOLIANITOS HOLOCÊNICOS DA REGIÃO DE CAMOCIM, CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL**

#### **RESUMO**

Este estudo teve como foco o estudo de fragmentos vegetais mineralizados em eolianitos da zona costeira de Camocim, com o objetivo de determinar o provável grupo taxonômico a que pertencem esses vegetais antigos por meio da sua morfologia e anatomia, como também interpretar o ambiente em que viviam. A investigação morfoanatômica foi feita em quatro espécimes de dimensões diferentes, dos quais também foram preparadas quatro amostras em corte transversal para análise em MEV e EDS. As análises químicas revelaram que os espécimes são formados essencialmente por carbonato de cálcio ( $C_aCO_3$ ) com a presença de Fósforo na amostra 4, que podem corresponder a resíduos fecais de micro-invertebrados comuns na zona intermaré. Os espécimes foram interpretados como plantas herbáceas a subarbustivas que habitaram a região com influência marinha. Apenas o espécime 4 exibiu estruturas interpretadas como vasos de xilema secundário, solitários e múltiplos de dois elementos, como também raios homocelulares compostos por células procumbentes, características que podem ser correlacionadas à família Fabaceae, a qual possui indivíduos atuais habitantes da região.

**Palavras-chave:** Eolianitos. Fabaceae. Ceará, Holoceno.

#### **ABSTRACT**

This research focuses on the study of mineralized plant fragments in eolianites from Camocim coastal zone, with objective to define likely taxonomic group to these ancient plants by its morphology and anatomy, as also an environmental interpretation. The morphoanatomical investigation occurred in four specimens with different measures, which was prepared four cross-section samples to MEV and EDS analyses as well. Chemical analyses revealed the specimens are essentially made of calcium carbonate ( $C_aCO_3$ ), with presence of Phosphorous in sample 4, that may correspond to micro invertebrates fecal residues commons in intertidal zone. The specimens were interpreted as herbaceous and sub-shrub plants inhabited a marine-influenced area. Only the fourth specimen showed structures similar to secondary xylem

vessels, solitary or multiple of two elements, homocellular rays composed by procumbent cells, features correlated to family Fabaceae that have current specimens inhabitants in the area.

**Keywords:** Eolianites. Fabaceae. Ceará. Holocene.

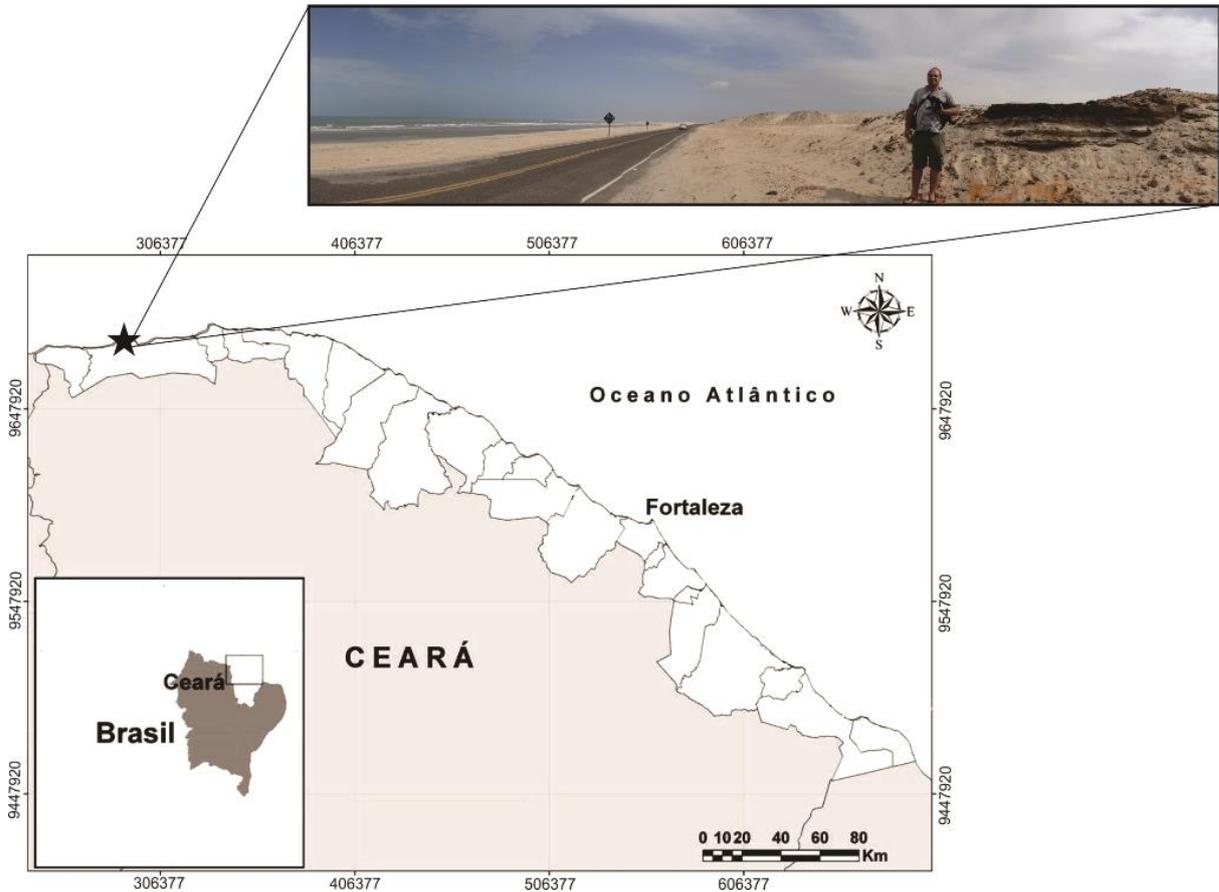
## INTRODUÇÃO

No litoral setentrional do nordeste brasileiro ocorrem os maiores campos de dunas do país (CASTRO & RAMOS, 2006). Praticamente toda linha de costa entre os municípios de Macau, no Estado do Rio Grande do Norte, e Camocim, no Estado do Ceará, é constituída por dunas móveis, dunas fixadas por vegetação ou cimentadas por carbonato de cálcio, estas últimas conhecidas como eolianitos, termo cunhado por Sayles (1931).

No Município de Camocim, extremo oeste do Estado do Ceará (Figura 14) foi constatada a presença de restos vegetais litificados (raízes e/ou caules) associados aos eolianitos aflorantes da região. Essa nova descoberta une-se a ocorrências anteriormente descritas em outros municípios do estado (CARVALHO *et al.*, 2008, MESQUITA *et al.*, 2016), revelando-se uma provável correlação, já que o litoral setentrional do nordeste brasileiro é único local no país onde se registra a ocorrência de eolianitos. Estudos sobre sua gênese e idade já foram realizados por Castro e Ramos (2006), no segmento entre Macau e Jericoacoara, obtendo dados semelhantes entre as localidades; datações em  $^{14}\text{C}$  revelaram que a idade de litificação desses depósitos ocorreu há aproximadamente 2000 anos.

Restos vegetais litificados representam um importante registro de vidas pretéritas da zona costeira, pois seu estudo fortalece a base de dados sobre o tema, além de auxiliar na assimilação de quais vegetais habitaram a região, como essas dunas foram ocupadas e como esses vegetais contribuíram para a dinâmica ambiental local. Objetivou-se com esse trabalho estudar e correlacionar o material litificado com os organismos atuais por meio de anatomia comparada baseado nas suas características morfológicas; estabelecer a relação entre os vegetais, sua ocupação e a fixação dos eolianitos enquanto eram dunas inconsolidadas, explicando a dinâmica de sucessão desse ambiente holocênico.

Figura 14. Mapa do litoral cearense mostrando onde os eolianitos afloram na zona costeira de Camocim, ao lado da BR-204.



Fonte: Modificado de Bezerra e Maia (2012).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os quatro espécimes estudados são provenientes de afloramentos localizados nas proximidades da BR-204 que liga a sede de Camocim à praia de Maceió, no litoral oeste do município, a 7 km do Lago Seco ( $02^{\circ} 52' 34.0''$  S /  $040^{\circ} 55' 32.4''$  W). Em seguida a coleta, o material foi encaminhado para o Laboratório de Paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), onde passou pelo processo de limpeza mecânica, posteriormente sendo impermeabilizado com verniz acrílico diluído em água a 50%, aplicado com o auxílio de pincéis e borrifadores.

O estudo usou como base investigativa quatro critérios gerais: forma, dimensões, preenchimento e relação ao substrato, junto a informações como sucessão biológica e uniformitarismo. Também foram preparadas quatro amostras de diâmetros diferentes em corte transversal, destinadas para análise na Central Analítica do curso de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC), onde foram realizadas as seguintes análises: microscopia eletrônica

de varredura (MEV) para observação de possíveis estruturas citológicas preservadas e espectroscopia por dispersão de energia de raios-X (EDS), aparelho utilizado na caracterização química de materiais. Para esta etapa os espécimes foram fragmentados com a ajuda de ajuda de cinzel e martelo leves. Esse procedimento foi necessário devido ao médio grau de litificação das amostras, difíceis de serem fragmentadas sem o uso de ferramentas. Em seguida, o material foi polido para o aplainamento das superfícies no Laboratório de Laminação da UFC, antes de seguir para a preparação e montagem de acordo com as normas de utilização da Central Analítica, onde foram observados no aparelho *Inspect 50*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização química

Sete elementos químicos foram identificados (Oxigênio, Carbono, Cálcio, Silício, Alumínio, Magnésio e Fósforo), sendo Cálcio, Oxigênio e Carbono os mais representativos nas amostras A, B e C, formando mais de 80% da composição de cada uma (Tabela 3). A amostra 4 foi a única que apresentou discrepância em relação as demais, tanto na quantidade total de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), cerca de 70% em comparativo aos 80% mensurado em 1, 2 e 3, quanto nas concentrações de Silício, por volta de 30%, a maior dentre as quatro amostras. O Fósforo surgiu como elemento traço apenas na amostra 4.

Tabela 3. Concentração percentual dos elementos químicos identificados nas quatro amostras.

Amostra	Porcentagem semi-quantitativa de elementos (%)					
	O	Ca	C	Mg	Si	Al
1	45,5	17,5	20,5	0,5	6,3	0,6
2	33,9	27,9	18,9	0,8	5,2	0
3	27,9	39	13	1,5	0,7	0
4	41	10	19,9	0	30	0

Fonte: Autor.

A presença em grandes concentrações de Oxigênio, Cálcio e Carbono na forma de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), está relacionada a natureza sedimentar da plataforma continental interna do litoral oeste de Camocim, majoritariamente constituída por areias litobioclásticas com depósitos superficiais de algas calcárias do gênero *Lithothamnium* (DIAS *et al.*, 2011).

A discrepância nas concentrações de Silício deve-se provavelmente ao fato de que este é um elemento relativamente inerte e pouco solúvel, distribuído de maneira irregular e desproporcional em cada amostra, proveniente dos sedimentos continentais areno-quartzosos transportados pelo fluxo hídrico do rio Coreaú e posteriormente depositados na praia do litoral oeste pelos ventos através da ação da deriva litorânea (E – W) (MEIRELES & VICENTE DA SILVA, 2002). Já o Fósforo não pode ser mensurado de forma quantitativa, provavelmente devido as suas baixas concentrações, aparecendo apenas como um elemento traço.

### Análise do registro botânico

Quatro critérios gerais foram utilizados para a caracterização morfológica dos espécimes analisados: forma, proporções – comprimento e diâmetro em centímetros (cm) – e preenchimento, levando também em conta dados coletados em campo como a relação ao substrato/transporte. Os espécimes possuem morfologia tubular semelhante com variações significativas; com forma tubular retilínea, tortuosa, serpeante ou levemente curvada, ramificada ou não, com comprimento variando de 8,0 a 20,0 cm e diâmetro de 0,5 a 2,0 cm. Quando presente, o preenchimento é parcial passivo e a relação ao substrato varia entre horizontal e/ou vertical, podendo também ter sido coletado em posição de vida (Tabela 4).

Tabela 4. Critérios gerais utilizados para a caracterização dos espécimes.

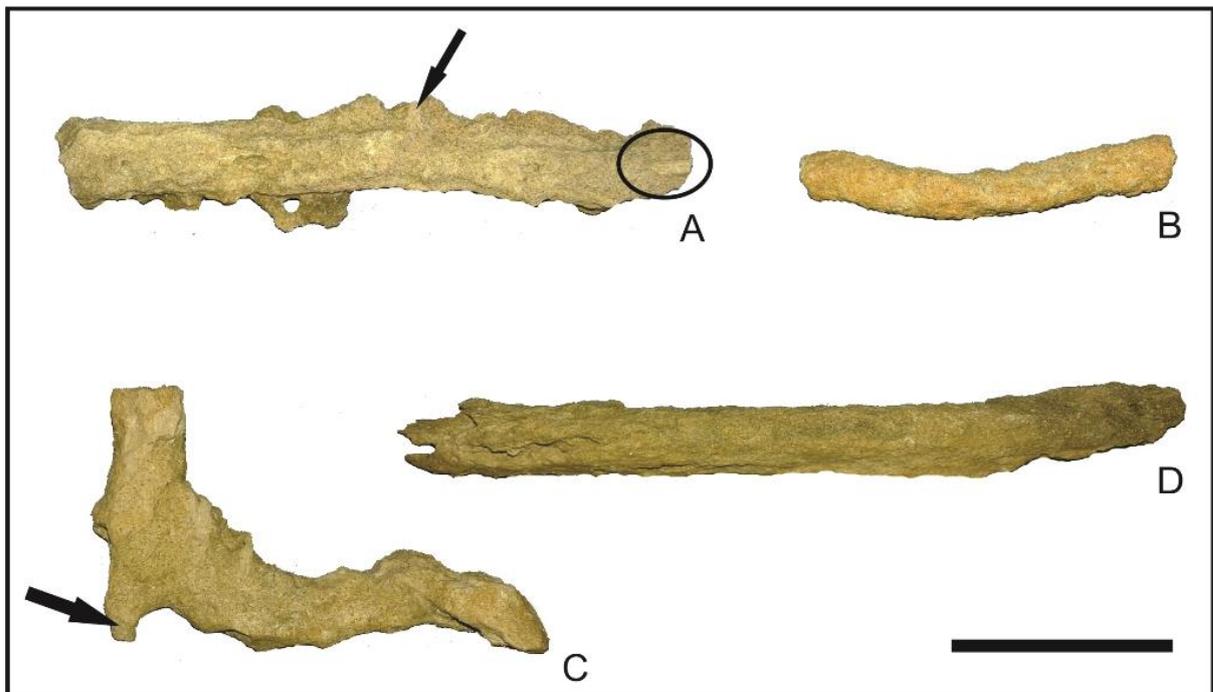
Espécime	Forma	Proporções		Preenchimento	Relação ao substrato/Transporte
		Comprimento (cm)	Diâmetro (cm)		
1	Tubular retilínea, ramificada	18,0	0,5	Parcial passivo	Horizontal, autóctone
2	Tubular levemente curvada, não ramificada	8,5	1,2	Parcial passivo	Parautóctone
3	Tubular serpeante e tortuosa, ramificada	12,8	1,7	-	Porção horizontal e vertical, autóctone
4	Tubular retilínea, não ramificada	20,0	2,0	-	Parautóctone

Fonte: Autor.

## Morfologia externa

A posição prostrada em vida, o diâmetro menor das ramificações (quando presentes) em relação ao ramo principal e o espaço vazio na região central dos tubos ajudaram na interpretação do hábito prostrado do espécime 1 e 2. A ramificação na região basal junto a posição de vida do tubo prostrado que se curva verticalmente para cima da altura do solo e o calibre do tubo principal indicam um típico hábito subarbustivo do espécime 3; o espécime 4 também apresentou provável hábito arbustivo, embasado não só pela morfologia com diâmetro de 2,0 cm (Figura 15) mas também pelas anatomia preservada.

Figura 15. Morfologia externa dos espécimes estudados. As setas indicam ramificações presentes nos tubos, enquanto que o círculo destaca a parte exposta do tubo que emerge do sedimento litificado. Escala: 5 cm.



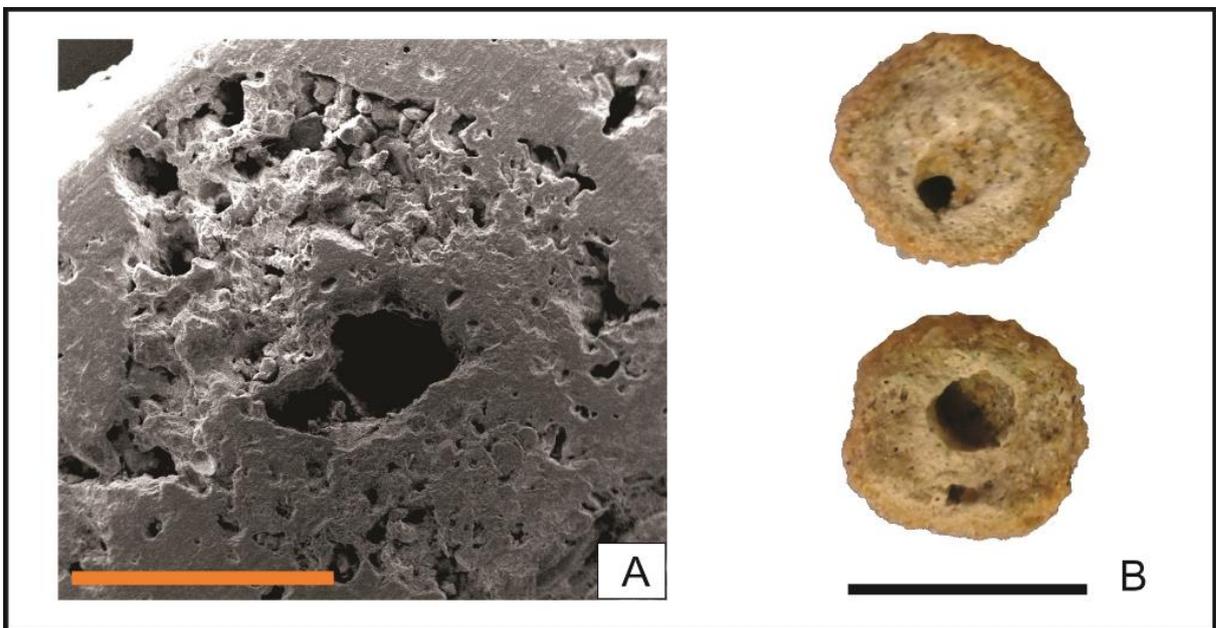
Fonte: Autor.

A presença de um espaço vazio na região central dos tubos nos espécimes 1 e 2 (Figura 16) demonstra uma provável característica adaptativa ao ambiente costeiro. Chamado de caule fistuloso ou caule oco, esse atributo se deve ao fato de que durante o desenvolvimento da planta, a região central da medula é destruída deixando para trás um espaço vazio, intercalado pelos nós distribuídos ao longo do comprimento dos ramos (CARR & JAFFE, 1995 *apud* NIKLAS, 1997). A fistula é um aspecto morfológico que indica crescimento secundário nos vegetais, quando os ramos se desenvolvem em espessura

(diâmetro). Esse crescimento é regido pelos meristemas laterais, formando o tecido secundário; é uma característica típica das dicotiledôneas e gimnospermas, podendo também estar presente em algumas monocotiledôneas (RAJPUT *et al.*, 2008; ROBERT *et al.*, 2011, RAJPUT *et al.*, 2012).

Essa morfologia surge como uma adaptação que resulta em ramos mais leves e flexíveis do que os do tipo lenhosos (lignificados); a funcionalidade dessa característica confere certo nível de resistência a impactos e choques de origem mecânica dependendo do grau de esforço (como ventos fortes ou impactos das ondas, fatores de estresse recorrentes em áreas costeiras); também confere flexibilidade, permitindo que os ramos dobrem ou curvem-se sem partir e com o auxílio dos nós que amortecem, absorvem e liberam a energia cinética recebida para restaurar a posição original da planta quando as forças de estresse param de agir (SPATZ *et al.*, 1990; NIKLAS, 1997; SCHULGASSER & WITZTUM, 1997; ROBERTSON, 2015).

Figura 16. Espaço com preenchimento parcial passivo na região central dos espécimes 1 e 2. Escalas: A. visão em MEV, 2 mm; B. 1 cm.

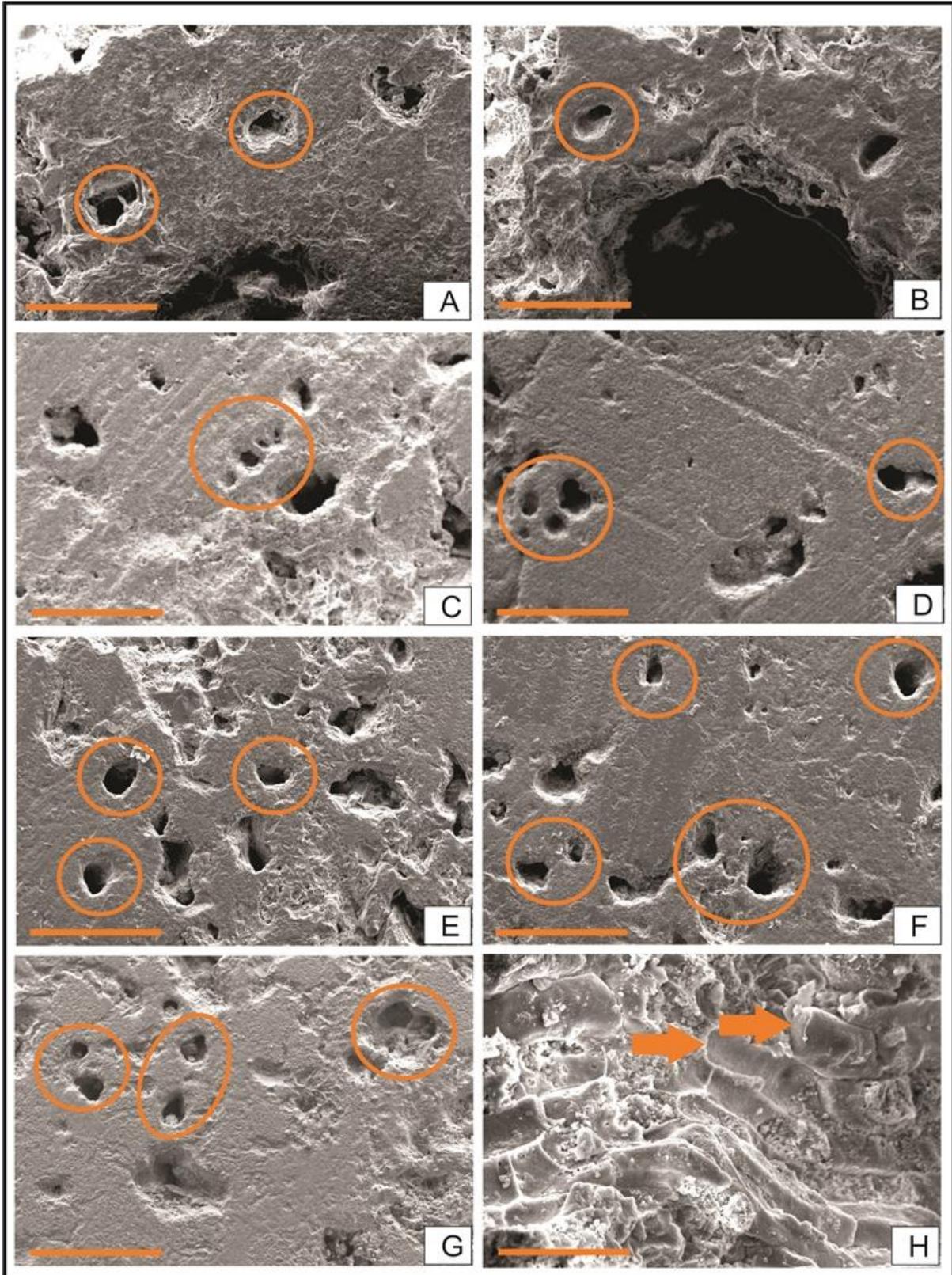


## Anatomia

As análises em MEV revelaram a presença de pequenas perfurações solitárias, às vezes em dupla, circulares a ovoides com a extremidade mais afunilada voltada para o centro, dispostos desde a região marginal até a central da superfície das amostras. O diâmetro das perfurações varia entre 50 a 250  $\mu\text{m}$ . Também foram observadas estruturas retangulares alongadas, dispostas lateralmente sem espaçamentos em relação às outras, com comprimento em cerca de 30  $\mu\text{m}$  e largura de 10  $\mu\text{m}$ .

Os orifícios observados em todas as quatro amostras (Figura 17), remetem aos vasos do xilema secundário, células mortas com perfurações nas extremidades, através das quais se comunicam entre si, conduzindo água para os órgãos da planta. Possuem entre 50 e 350  $\mu\text{m}$  e podem surgir como vasos solitários ou múltiplos radiais, tangenciais ou racemiformes, dependendo da família botânica na qual a planta pertence. Sua distribuição pode variar, sendo a difusa a mais comum. É um tecido tipicamente encontrado em todas as angiospermas e em algumas gimnospermas, como nas Pinophyta e na maioria das Cycadophyta (MORRIS, 2016).

Figura 17. Cortes em secção transversal (espécime 1, A-B; espécime 2, C-D; espécime 3, E-F; espécime 4, G-H) onde os círculos mostram os elementos de vaso. Em H, as setas apontam as células radiais procumbentes. É possível observar a parede do elemento de vaso múltiplo em A (canto inferior esquerdo) e G (canto superior direito). Escalas: A-G. 500  $\mu$ m; H. 30  $\mu$ m.



Fonte: Autor.

Apenas no espécime 4 foi possível observar a presença de células de parênquima radial procumbente. Assim como nas gimnospermas, os raios das angiospermas também realizam as mais diversas funções, como armazenamento, transformação ou condução de nutrientes, porém exibem uma diversidade morfológica maior quanto ao tipo, número e tamanho das células. Podem ser classificados em heterogêneos, quando os raios exibem células com mais de um formato (procumbentes, eretas e quadradas); e homogêneos quando as células possuem um único formato (procumbentes em secção radial) (BARROS *et al.*, 2008; REIS *et al.*, 2011).

A porosidade difusa com grande parte dos vasos solitários, ocorrendo também múltiplos de dois elementos, poros com diâmetro médio entre 50 e 250  $\mu\text{m}$  e raio com a presença de células parenquimatosas procumbentes homogêneas, medindo 30  $\mu\text{m}$  de comprimento são algumas características anatômicas observadas correspondem aquelas atribuídas à família Fabaceae (BARROS *et al.*, 2008), com representantes presentes na flora das regiões costeiras e de restinga, como a *Canavalia rosea* (Sw.) DC, espécie com caule aéreo-rastejante do tipo estolão, resistente a maresia, grandes taxas de salinidade, alta mobilidade de areia, capaz de prosperar em substratos com baixo teor de matéria orgânica e nutrientes. Pode ser frequentemente encontrada habitando desde o pós-praia até as dunas frontais, podendo crescer também próximo a lagoas costeiras (MARTÍNEZ & MORENO-CASASOLA, 1996; MENDONZA-GONZÁLES *et al.*, 2014).

## CONCLUSÕES

Não houve grande diferença significativa na composição de cada amostra, com os elementos mais representativos Ca, C e O, que devem corresponder ao cimento carbonático ( $\text{CaCO}_3$ ). Mesmo a amostra 4 apresentando valor 10% menor do que as demais, sua composição é majoritariamente  $\text{CaCO}_3$ , com valores acima de 70%. A presença de Silício se deve ao fato de que é um elemento que está presente na composição geral dos sedimentos de praia e o Fósforo pode corresponder a pelotas fecais de micro-invertebrados (poliquetas) comuns na faixa de praia intermaré.

As características morfológicas e anatômicas, assim como a natureza autóctone e parautóctone do material estudado contribuíram para a interpretação dos espécimes como ramos vegetais de plantas herbáceas a subarborescentes adaptadas ao ambiente costeiro, com ramos ocos que resistiam a pressões mecânicas como ventos fortes e choque das ondas, além do peso do movimento de areia das dunas. A organização celular do tecido do xilema, com

vasos solitários a múltiplos de dois elementos, além dos raios homocelulares compostos por células procumbentes observados na amostra 4, apontam para uma possível associação a família Fabaceae. A descrição e identificação do xilema secundário, assim como do parênquima radial deve sempre levar em consideração que diferenças estruturais podem ocorrer, dependendo das condições que a planta vivia, como resultado do efeito ambiental, climático ou edáfico, assim como dos processos de mineralização dos quais o material foi submetido, influenciando no grau preservacional das estruturas citológicas.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, C. F.; CALLADO, C. H.; DA CUNHA, M.; MARCON-FERREIRA, M. L.; TAMAIO, N.; MARQUETE, O.; COSTA, C. G. **Madeiras da Mata Atlântica - Anatomia do lenho de espécies ocorrentes nos remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro - Vol.III**. 1. ed. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, v. 5. 100p. 2008.
- BEZERRA, L. J. C & MAIA, L. P. **Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do Estado do Ceará**. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, 45 (1): 47-55. 2012.
- CARR, S. M. & JAFFE, M. J. **Pith autolysis in herbaceous, dicotyledonous plants: Experimental manipulation of pith autolysis in several cultivated species**. Annals of Botany. 75: 587-592. 1995.
- CARVALHO, A. M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P.; CASTRO, J. W. A. **Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil – Registro ímpar de um paleossistema eólico costeiro**. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T.; (Edit.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. p. 121-130. 2008.
- CASTRO, J. W. A.; RAMOS, R. R. C. **Idade das dunas móveis transversais no segmento entre Macau e Jericoacoara – Litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro**. Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, v. 64, n. 4., p. 361-367. 2006.
- DIAS, C. B.; BARROS, E. L.; MORAIS, J. O. **Granulados marinhos na plataforma continental N/NE do Brasil: ensaio metodológico**. Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios - Rio de Janeiro. III Encontro do Quaternário Sul-Americano. v 1, n, 1. p. 168-171. 2011.
- MARTÍNEZ, M.L.; MORENO-CASASOLA, P. **Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species**. Journal of Coastal Research, 12(2), 406–419. 1996.
- MENDONZA-GONZÁLEZ, G.; MARTÍNEZ, M. L.; LITHGOW, D. **Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: Canavalia rosea (Sw.) DC**. Journal of Coastal Research, 30(4): 697-713. 2014.

MEIRELES, A. J. A.; VICENTE, S. E. **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, Universidad de Barcelona, 6(118). 2002.

MESQUITA, A. F.; SILVA-FILHO, W. F.; DUARTE, C. R.; BEZERRA, F. H. R.; VASCONCELOS, D. L.; SOUSA, J. P. **Faciologia e Evolução dos Depósitos Eólicos Costeiros do Oeste do Ceará (Brasil) no Holoceno Tardio.** Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, 17(4): 783-799. 2016.

MORRIS, H. R. **The structure and function of ray and axial parenchyma in woody seed plants.** Fakultät für Naturwissenschaften, Universität Ulm, Germany. 180p. 2016.

NIKLAS, K. J. **Responses of hollow, septate stems to vibrations: biomechanical evidence that nodes can act mechanically as spring-like joints.** Annals of Botany, 80: 437-448. 1997.

REIS, A. R. S.; REIS, P. C. M.; BRANDÃO, A. T. O.; LISBOA, P. L. B. **Anatomia do xilema secundário de sete espécies do gênero *Tachigali* Aubl. (Fabaceae), disponíveis na Xiloteca Walter A. Egler, do Museu Paraense Emílio Goeldi, Pará, Brasil.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais, Belém, 6(3): 319-333. 2011.

ROBERT, E. M. R. **Successive cambia: a developmental oddity or an adaptive structure?** PLoS ONE 6, e16558, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0016558>. 2011.

ROBERTSON, D. J.; SMITH, S. L.; COOK, D. D. **On measuring the bending strength of septate grass stems.** American Journal of Botany, 102 (1): 5-11. 2015.

RAJPUT, K. S.; RAOLE, V. M.; GANDHI, D. **Radial secondary growth, formation of successive cambia and their products in *Ipomoea hederifolia* L (Convolvulaceae).** Botanical Journal of the Linnean Society. 158: 30-40. 2008.

RAJPUT, K. S.; NUNES, M. O.; BRANDES, A. F. N.; TAMAIO, N. **Development of successive cambia and pattern of secondary growth in the stem of the Neotropical liana *Rhynchosia phaseoloides* (SW.) DC. (Fabaceae).** Flora, Elsevier. 607-614. 2012.

SAYLES, R.W. **Bermuda during the ice age.** Proc. Acad. Arts. Sci. 66:381-486. 1931.

SCHULGASSER, K.; WITZTUM, A. **On the Strength of Herbaceous Vascular Plant Stems.** Annals of Botany, 80: 35-44. 1997.

SPATZ, H.; SPECK, T.; D, VOGELLEHNER. **Contributions to the biomechanics of plants. II. Stability against local buckling in hollow plant stems.** Botanica Acta, 103: 123-130. 1990.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no artigo da segunda seção “Caracterização química de vegetal holocênico mineralizado procedente de Camocim, Ceará” mostraram que as cinco amostras não apresentaram variações significativas em sua composição química, sendo essencialmente formadas por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), que constitui mais de 90% da composição total de cada amostra. A presença de Magnésio, Silício e de outros elementos associados (Al, Cl, Br e Fe) em concentrações menores e irregulares pode estar relacionado à diversa origem diagenética composicional dos sedimentos depositados no litoral da região, basicamente uma mistura de partículas continentais – carregadas até a costa pelo Rio Coreá – e fragmentos bioclásticos marinhos (restos de conchas calcárias e corais) de diferentes tamanhos, e que são, provavelmente, a principal origem do carbonato mineralizado nos restos vegetais, retrabalhado.

Referente ao artigo da terceira seção “Registro de fragmentos vegetais em eolianitos holocênicos da região de Camocim, Ceará, Nordeste do Brasil”, não houve grande diferença significativa na composição de cada amostra, com os elementos mais representativos Ca, C e O, que devem corresponder ao cimento carbonático ( $\text{CaCO}_3$ ). Mesmo a amostra 4 apresentando valor 10% menor do que as demais, sua composição é majoritariamente  $\text{CaCO}_3$ , com valores acima de 70%. A presença de Silício se deve ao fato de que é um elemento que está presente na composição geral dos sedimentos de praia e o Fósforo pode corresponder a pelotas fecais de micro-invertebrados (poliquetas) comuns na faixa de praia intermaré.

As características morfológicas e anatômicas, assim como a natureza autóctone e parautóctone do material estudado contribuíram para a interpretação dos espécimes como ramos caulinares vegetais de plantas herbáceas a subarbustivas adaptadas ao ambiente costeiro, com ramos ocos que resistiam a pressões mecânicas como ventos fortes e choque das ondas, além do peso do movimento de areia das dunas. A organização celular do tecido do xilema, com vasos solitários a múltiplos de dois elementos, além dos raios homocelulares compostos por células procumbentes observados na amostra 4, apontam para uma possível associação a família Fabaceae. A descrição e identificação do xilema secundário, assim como do parênquima radial deve sempre levar em consideração que diferenças estruturais podem ocorrer, dependendo das condições que a planta vivia, como resultado do efeito ambiental, climático ou edáfico, assim como dos processos de mineralização dos quais o material foi submetido, influenciando no grau preservacional das estruturas citológicas.

A caracterização química das amostras atesta a variedade composicional dos sedimentos depositados no litoral da região, enquanto a presença de estruturas citológicas preservadas com a identificação de um provável táxon acrescenta novas informações a respeito da história dos eolianitos e de seu conteúdo vegetal mineralizado.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. E. **Contribuição ao estudo da mineralogia de sedimentos na plataforma continental dos Estados do Ceará, Piauí e Maranhão através da microscopia analítica SEM/EDS**. Instituto de Ciências do Mar-LABOMAR/UFC, Tese de Doutorado, Fortaleza, 173p. 2014.
- AMIEL, A. J. **Progressive pedogenesis of eolianite sandstone**. *Journal of Sedimentary Petrology*. 45: 513-519. 1975.
- ARAÚJO, D. S. D.; PEREIRA, M. C. A. **Sandy coastal vegetation**. *In: Encyclopedia of Life Support Systems*. Oxford, UK: Developed under the auspices of the United Nations Education, Scientific, and Cultural Organization, Eolss Publishers. <http://www.eolss.net/ebooks/Sample%20Chapters/C20/E6-142-TB-08.pdf>. 2004.
- BAL, L. **Carbonate in soil: a theoretical consideration on, and proposal for its fabric analysis. II. Cystal tubes, intercaly crystals, K fabric**. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 23: 163-176. 1975.
- BARROS, C. F.; CALLADO, C. H.; DA CUNHA, M.; MARCON-FERREIRA, M. L.; TAMAIO, N.; MARQUETE, O.; COSTA, C. G. **Madeiras da Mata Atlântica - Anatomia do lenho de espécies ocorrentes nos remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro - Vol.III**. 1. ed. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, v. 5. 100p. 2008.
- BEZERRA, L. J. C & MAIA, L. P. **Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do Estado do Ceará**. *Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza*, 45 (1): 47-55. 2012.
- BEZERRA, L. J. C.; MAIA, L. P. **Caracterização sedimentológica dos tabuleiros pré-litorâneos do Estado do Ceará**. *Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza*, 45 (1): 47-55. 2012.
- BRAITHWAITE, C. J. R. **Petrology of palaeosols and other terrestrial sediments in Aldabra, Western Indian Ocean**. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 273: 1-32.,1975.
- BREWER, R. **Fabric and Mineral Analysis of Soils**. Wiley & Sons, New York: 470p. 1964.
- CALVET, F.; POMAR, L; ESTEBAN, M. **Las Rizocrecciones del Pleistoceno de Mallorca**. *Institute de Investigacion Geologica. Universitat de Barcelona*. 30: 35-60. 1975.
- CARR, S. M. & JAFFE, M. J. **Pith autolysis in herbaceous, dicotyledonous plants: Experimental manipulation of pith autolysis in several cultivated species**. *Annals of Botany*. 75: 587-592. 1995.
- CARVALHO, A. M. **Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões-Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos processos eólicos**. Tese de Doutorado, Salvador. 188p. 2003.
- CARVALHO, A. M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P.; CASTRO, J. W. A. **Eolianitos**

**de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil – Registro ímpar de um paleossistema eólico costeiro.** In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T.; (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. p. 121-130. 2008.

CARVALHO, A. M.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P.; CASTRO, J. W. A. **Eolianitos de Flecheiras/Mundaú, Costa Noroeste do Estado do Ceará, Brasil – Registro ímpar de um paleossistema eólico costeiro.** In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T.; (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. p. 121-130. 2008.

CARVALHO, A. M.; MAIA, L. P. **Estudos dos sedimentos Cenozóicos da região de Paracuru, Ceará, Brasil.** Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Geologia, Fortaleza. 86p. 1990.

CASTRO, J. W. A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru-Ceará.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 200p. 2001.

CASTRO, J. W. A.; RAMOS, R. R. C. **Idade das dunas móveis transversais no segmento entre Macau e Jericoacoara – Litoral Setentrional do Nordeste Brasileiro.** Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, v. 64, n. 4., p. 361-367. 2006.

CHINAGLIA, C. R.; CORREA, C. A. **Polímeros: Ciência e Tecnologia.** CCDM-Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 19-23. 1997.

CLAUDINO-SALES, V.C. **Les littoraux du Ceará. Géomorphologie de la zone côtière de l'Etat du Ceará: du long terme au court terme.** Tese de Doutorado, Université Paris-Sorbonne, France. 549p. 2002.

COLARES, M. C. S.; PINHEIRO, L. S.; MENEZES, M. O. B.; MORAIS, J. O. **Caracterização Sedimentar do Canal do Estuário do Rio Coreau, Estado do Ceará, Brasil.** Arquivos de Ciências do Mar. 49(1): 5-12. 2016.

CORRELL, M. J.; KISS, J. Z. **Interactions between gravitropism and phototropism in plants.** *Journal of Plant Growth Regulation*, 21: 89-101. 2002.

DAVIDSON-ARNOTT, R. **Introduction to Coastal Process and Geomorphology.** Cambridge University Press. New York. 442p. 2010.

DIAS, C. B.; BARROS, E. L.; MORAIS, J. O. **Granulados marinhos na plataforma continental N/NE do Brasil: ensaio metodológico.** Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios - Rio de Janeiro. III Encontro do Quaternário Sul-Americano. v 1, n, 1. p. 168-171. 2011.

DIAS, C. B.; BARROS, E. L.; MORAIS, J. O. **Granulados marinhos na plataforma continental N/NE do Brasil: ensaio metodológico.** Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios - Rio de Janeiro. III Encontro do Quaternário Sul-Americano. v 1, n, 1. p. 168-171. 2011.

DIAS, C. B.; BARROS, E. L.; MORAIS, J. O. **Granulados marinhos na plataforma continental N/NE do Brasil: ensaio metodológico.** Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Búzios - Rio de Janeiro. III Encontro do Quaternário Sul-Americano. v 1, n, 1. p. 168-171. 2011.

DURAND, J. H. **Essai de nomenclature des croûtes.** Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Tunisie , 3-4: 141-142. 1949.

ESTEBAN , M. **Vadose pisolite and caliche.** Bulletin American Association of Petroleum Geologists. 60: 2048-2057. 1976.

FAIRBRIDGE, R. W.; TEICHERT, C. **Soil horizons and marine bands in the coastal limestones of Western Australia.** Journal and proceedings of the Royal Society. New South Wales. 86: 68-78. 1953.

FARRAPEIRA NETO, C. A. **Evolução paleogeográfica do baixo vale do Rio Coreaú e plataforma continental, Ceará, Brasil.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Ceará. 150 p. 2013.

FARRAPEIRA-NETO, C. A.; MORAIS, J. O. **Evolução da linha de costa do município de Camocim, Ceará, Brasil.** Revista Casa da Geografia de Sobral, 16 (2): 101-114. 2014.

FLETCHER III, C. H.; MURRAY-WALLACE, C. V.; GLENN, C. R.; SHERMAN, C. E.; POPP, B.; HESSLER, A. **Age and Origin of Late Quaternary Eolianite Kaiehu Point (Moomomi), Molokai, Hawaii.** Journal of Coastal Research, 42: 97-102. 2005.

GLENNIE, K. W.; EVAMY, B. B. **Dikaka: plants and plant-root structures associated with aeolian sand.** Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 4: 78-87. 1968.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia Vegetal**, 2ª ed. Artmed, Porto Alegre. 592 p. 2009.

HARRISON, R. S. **Caliche profiles: indicators of near-surface subaerial diagenesis, Barbados, West Indies.** Bulletin of Canadian Petroleum Geology. 25: 123-173. 1977.

HOFFMEISTER, J. E.; MULTER, H. G. **Fossil mangrove reef of Key Biscayne, Florida.** Geological Society of America Bulletin. 76: 845-852. 1965.

JOHNSON, D. L. **Caliche on the Channel Islands.** California Division of Mines and Geology. 20: 151-158. 1967.

KINDLE, E. M. **Range and distribution of certain types of Canadian Pleistocene concretions.** Geological Society of America Bulletin. 34: 609-648. 1923.

\_\_\_\_\_. **A note on Rhizocretions.** The Journal of Geology. 33: 744-746. 1925.

KLAPPA, C. F. **Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis, and significance.** Sedimentology, 26: 613-629. 1980.

KRAUS, M. J.; HASIOTIS, S. T. **Significance of different modes of rhizolith preservation**

to interpreting paleoenvironmental and paleohydrologic settings: examples from Paleogene paleosols, Bighorn basin, Wyoming. *Journal of Sedimentary Research*, 76: 633–646. 2006.

LOOPE, D. B. **Rhizoliths in ancient eolianites.** *Sedimentary Geology*. 56: 301-314. 1986.  
 MAIA, L. P. **Processos costeiros y balance sedimentário a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicações para uma gestão adequada de la zona litoral.** *Universitat de Barcelona*. Facultat de Geologia. Dep. D'Estratigrafia i Paleontologia. Tesis Doctoral. Barcelona. 269p. 1998.

MARTÍNEZ, M.L.; MORENO-CASASOLA, P. **Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species.** *Journal of Coastal Research*, 12(2), 406–419. 1996.

MAUN, M. A. **Plant communities.** In: MAUN, M. A. (Ed). *The Biology of Coastal Sand Dunes*. Oxford University Press. p. 164-180. 2009.

McNEIL J.; BARRIE, F.R.; BUCK, W.R.; GREUTER, W.; DEMULIN, V., HAWKSWORTH, D.L., HERENDEEN, S.; KNAPP, K.; MARHOLD, J.H.; PRADO, J.; PRUD'HOMME VAN REINE, W.F.; SMITH, G.F.; WIERSEMA, J.H. and TURLAND, N.J. Eds. (2012) – **International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code):** Adopted by the Eighteenth International Botanical Congress Melbourne, Australia, July 2011. *Regnum Vegetabile* 154: 1-140.

MEIRELES, A. J. A.; VICENTE DA SILVA. E. **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, Universidad de Barcelona*, 6(118). 2002.

MENDONZA-GONZÁLEZ, G.; MARTÍNEZ, M. L.; LITHGOW, D. **Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Canavalia rosea* (Sw.) DC.** *Journal of Coastal Research*, 30(4): 697-713. 2014.

MESQUITA, A. F.; SILVA-FILHO, W. F.; DUARTE, C. R.; BEZERRA, F. H. R.; VASCONCELOS, D. L.; SOUSA, J. P. **Faciologia e Evolução dos Depósitos Eólicos Costeiros do Oeste do Ceará (Brasil) no Holoceno Tardio.** *Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo*, 17(4): 783-799. 2016.

MONSHAUSEN, G. B.; SARAH, J. S.; GILROY, S. Touch sensing and thigmotropism. In: S. Gilroy and P. H. Masson (Eds.) **Plant tropisms**, 91–122. Blackwell, Oxford, UK. 2008.

MORAIS, J. O. In: *Compartimentação territorial e evolutiva da zona costeira do Estado do Ceará.* LIMA, L. C.; SOUZA, M. J. N.; MORAIS, J. O. (Orgs.) **Compartimentação territorial e Gestão Regional do Ceará.** Fortaleza, FUNECE. 268 p. II. 2000.

MORRIS, H. R. **The structure and function of ray and axial parenchyma in woody seed plants.** Fakultät für Naturwissenschaften, Universität Ulm, Germany. 180p. 2016.

MOULIA, B.; FOURNIER, M. **The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view.** *Journal of Experimental Botany*, 60(2):

461-486, 2009.

MURRAY R. G.; ANTHONY J. M.; KATHLEEN A. C. **Compound trace fossils formed by plant and animal interactions: Quaternary of northern New Zealand and Sapelo Island, Georgia (USA).** FOSSILS AND STRATA. 51: 88-105. 2004.

NETO DE CARVALHO, C. **Pegadas de vertebrados nos eolianitos do Plistocénico Superior do Sudoeste Alentejano, Portugal.** Comunicações Geológicas, 98: 99-108. 2011.

NIKLAS, K. J. **Responses of hollow, septate stems to vibrations: biomechanical evidence that nodes can act mechanically as spring-like joints.** Annals of Botany, 80: 437-448. 1997.

NORHROP, J. I. **Notes on geology of the Bahamas.** Transactions of the New York Academy of Sciences. 10: 4-22. 1980.

ODUM, E. P. **Fundamentals of Ecology**, 3rd edition. W. B. Saunders Company, Philadelphia, 574 pp. 1971.

PACKHAM, J. R.; WILLIS, A. J. **Ecology of Dunes, Salt Marsh and Shingle.** Chapman and Hall, London, 334 p. 1997.

PERKINS, R. D. **Depositional Framework of Pleistocene Rocks in south Florida.** Memoirs - Geological Society of America. 147: 131-198. 1977.

PFEFFERKORN, H. W; FUCHS, K. **A field classification of fossil plant–substrate interactions.** Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 183, 17–36. 1991.

RAJPUT, K. S.; NUNES, M. O.; BRANDES, A. F. N.; TAMAIO, N. **Development of successive cambia and pattern of secondary growth in the stem of the Neotropical liana *Rhynchosia phaseoloides* (SW.) DC. (Fabaceae).** Flora, Elsevier. 607-614. 2012.

RAJPUT, K. S.; RAOLE, V. M.; GANDHI, D. **Radial secondary growth, formation of successive cambia and their products in *Ipomoea hederifolia* L (Convolvulaceae).** Botanical Journal of the Linnean Society. 158: 30-40. 2008.

RANWELL, D. S. **Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes.** Chapman and Hall, London, 258 p. 1972.

READ, J. F. **Calcrete deposits and Quaternary sediments, Edel Province, Western Australia.** American Association of Petroleum Geologists. 22: 250-282. 1974.

REIS, A. R. S.; REIS, P. C. M.; BRANDÃO, A. T. O.; LISBOA, P. L. B. **Anatomia do xilema secundário de sete espécies do gênero *Tachigali* Aubl. (Fabaceae), disponíveis na Xiloteca Walter A. Eglér, do Museu Paraense Emílio Goeldi, Pará, Brasil.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais, Belém, 6(3): 319-333. 2011.

RESTALLACK, G.J. **Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology**, 2nd edition. Blackwell Science, Oxford, 404 p. 2001.

- ROBERT, E. M. R. **Successive cambia: a developmental oddity or an adaptive structure?** PLoS ONE 6, e16558, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0016558>. 2011.
- ROBERTSON, D. J.; SMITH, S. L.; COOK, D. D. **On measuring the bending strength of septate grass stems.** American Journal of Botany, 102 (1): 5-11. 2015.
- ROGERS, S.; NASH, D. **The Dune Book.** North Carolina Sea Grant, September, 28 p. 2003.
- RUTH, N. **Replacement vs impregnation in petrified wood.** Economic Geology. 22: 729-739. 1927.
- SARJEANT, W. A. S. Plant trace fossils, In: Frey, R. W. ed. **The Study of Trace Fossils.** New York, Springer Verlag: 163–179, 1975.
- SAYLES, R.W. **Bermuda during the ice age.** Proc. Acad. Arts. Sci. 66:381-486. 1931.
- SCARANO, F. R. **Structure, function and floristic relationships of plant communities in stressful habitats marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest.** Annals of Botany. 90: 517-524. 2002.
- SCHULGASSER, K.; WITZTUM, A. **On the Strength of Herbaceous Vascular Plant Stems.** Annals of Botany, 80: 35-44. 1997.
- SHERMAN, G. D.; IKAWA, H. **Calcareous concretions and sheets in soil near South Point, Hawaii.** Pacific Scientific. 12: 255-257. 1958.
- SPATZ, H.; SPECK, T.; D, VOGELLEHNER. **Contributions to the biomechanics of plants. II. Stability against local buckling in hollow plant stems.** Botanica Acta, 103: 123-130. 1990.
- STEINEN, R. P. **Phreatic and vadose diagenetic modification of Pleistocene limestone: Petrographic observations from sub-surface of Barbados, West Indies.** Bulletin American Association of Petroleum Geologists. 58: 1008-1024. 1974.
- STRAKHOV, N. H. **Principles of Lithogenesis.** Oliver & Boyd, Edingburgh. v. 3, 577p, 1970.
- TEICHERT, C. **Late Quaternary sea-level changes at Rottneest Island, Western Australia.** The Proceedings of the Royal Society of Victoria. 59: 63-79. 1950.
- UCHMAN, A.; SLACZKA, A.; RENDA, P. **Probable root structures and associated trace fossils from the Lower Pleistocene calcarenites of Favignana Island, southern Italy: dilemmas of interpretation.** Geological Quarterly, 56(4): 745–756. 2012.
- VALETON, I. **Tubular fossils in the bauxites and the underlying sediments of Surinam and Guyana.** Geologie en Mijnbouw. 50: 733-741. 1971.
- WARD, W. C. **Petrology and diagenesis of carbonate Eolianites of northeastern Yucatán, Mexico,** In: *Studies in Geology*, v. 2. *Belize Shelf: Carbonate Sediments, Clastic Sediments and Ecology*, p. 500-571. American Association of Petroleum Geologists, 1975.