Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Paleovegetação da Ilha Grande (Rio de Janeiro) no Holoceno através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono

Heloisa Helena Gomes Coe¹, Yame Bronze Medina Ramos²,
André Luiz Carvalho da Silva³, Emily Gomes⁴, Leandro de Oliveira Furtado de Sousa⁵, Kita Damasio Macario⁶,
Raphaella Rodrigues Dias⁷

¹ Dr. em Geologia e Geofísica Marinha, Professora Adjunta, Faculdade de Formação de Professores da UERJ, São Gonçalo, RJ, e Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. heloisacoe@yahoo.com (autor correspondente). ² Mestre em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. yamemedina@hotmail.com. ³ Dr. em Geologia e Geofísica Marinha, Professor Adjunto, Faculdade de Formação de Professores da UERJ, São Gonçalo, RJ. andreasilvageouerj@gmail.com. ⁴ Graduanda em Ciências Biológicas, Faculdade de Formação de Professores da UERJ, São Gonçalo, RJ. milyg16@yahoo.com.br. ⁵ Dr. em Botânica, Professor Adjunto, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, RN. lofsousa@gmail.com. ⁶ Dr. em Física, Professora Adjunta, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. kitamacario@gmail.com. ⁷ Mestranda em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. raphaella.r.dias@gmail.com.

Artigo recebido em 02/02/2018 e aceito em 20/05/2018

RESUMO

Este estudo objetivou contribuir para o conhecimento das condições ambientais da Ilha Grande no Holoceno, usando como indicadores os fitólitos e os isótopos do carbono. Na Ilha Grande, maior ilha do litoral do estado do Rio de Janeiro, predomina a vegetação de Mata Atlântica, com florestas, restinga, e vegetação de afloramentos rochosos. Foram estabelecidas inicialmente as coleções de referências modernas de assembleias fitolíticas de plantas e solos, para posterior comparação com assembleias fósseis. Foram analisadas 28 plantas de diferentes famílias, 5 assembleias modernas de solo e 31 amostras retiradas de 2 testemunhos e 3 perfis de solo. Os fitólitos das plantas foram extraídos por via ácida e os de solo por eliminação de carbonatos, matéria orgânica, óxidos de ferro e por separação densimétrica. As análises fitolíticas indicam que nos últimos 4.000 anos cal AP a vegetação da Ilha Grande foi predominantemente arbórea; resultado corroborado pelas análises de isótopos estáveis de Carbono, que mostraram predomínio de plantas do tipo C3. Não foram observadas grandes mudanças nas características das formações vegetais em relação às atuais, com predomínio da floresta ombrófila, demonstrando um padrão bioclimático semelhante ao atual e evidenciando que a cobertura vegetal da Ilha Grande tem mantido uma condição de equilíbrio com as características climáticas e edáficas da região neste período. Os fitólitos das assembleias fósseis se encontram profundamente alterados, como resultado da intensidade dos processos erosivos na região, relacionados à elevada pluviosidade e gradiente do relevo, o que dificulta a preservação dos fitólitos mais frágeis, como os *short-cells*.

Palavras-chave: reconstituição paleoambiental; bioindicadores; Mata Atlântica.

Paleovegetation of Ilha Grande (Rio de Janeiro) in the Holocene through the study of phytoliths and carbon isotopes

ABSTRACT

This study aims to contribute to the knowledge on environmental conditions on Ilha Grande during the Holocene, using phytoliths and carbon isotopes as indicators. Ilha Grande, the largest island on the coast of the state of Rio de Janeiro, has a predominant vegetation of Atlantic Forest, with forests, "restinga" and rocky outcrop vegetation. Modern reference collections of phytolith assemblages from plants and soils were established for later comparison with fossil assemblages. We analyzed 28 plants from different families, 5 modern soil assemblages and 31 samples taken from 2 sediment cores and 3 soil profiles. Plant phytoliths were extracted using acid and soil phytoliths through removal of carbonates, organic matter, iron oxides and densimetric separation. The phytolith analyses indicated that during the last 4,000 years cal BP the vegetation has been predominantly arboreal, a result corroborated by the Carbon stable isotope analyses, which showed a predominance of C3 plants. No major changes were observed in the characteristics of the vegetal formations in relation to the present ones, demonstrating a bioclimatic pattern similar to the current one, with predominance of the rainforest, showing that the vegetation cover of Ilha Grande has maintained a condition of balance with the climatic and edaphic characteristics of the region in this period. Phytoliths from fossil assemblages are profoundly weathered, as a result of the intensity of the erosive processes in the region, related to the high rainfall and high relief gradient, which makes preservation of the most fragile phytoliths, like the *short-cells*, difficult.

Keywords: paleoenvironmental reconstruction; bioindicators; Atlantic Forest.

Introdução

Estudos que utilizam a integração de dados obtidos através de diferentes indicadores permitem compreender a evolução de ambientes e reconstituir cenários bioclimáticos, sob as mais variadas escalas espaciais (globais ou locais) e temporais (tempo do Homem e da Geologia). No litoral fluminense, muitos trabalhos foram desenvolvidos com objetivos voltados para a compreensão das mudanças ambientais e evolução geológica ao longo do Quaternário (Suguio e Martin, 1978; Ireland, 1987; Martin e Suguio, 1992; Ortega, 1996; Luz, 1997; Turcq et al., 1999; Coelho et al., 1999, 2002; Scheel-Ybert, 2000; Misumi et al., 2003; Angulo et al., 2005; Sylvestre, 2005; Laslandes et al., 2007; Andrade, 2008; Luz et al., 2011; Coe et al., 2012, 2014, 2015; Bruno et al., 2013, dentre inúmeros outros). Essas mudanças podem ser identificadas através de estudos paleoambientais que utilizam diferentes indicadores (biológicos, geológicos, etc).

A Ilha Grande, selecionada para a realização deste estudo, está localizada no município de Angra dos Reis, no litoral sul do estado do Rio de Janeiro. A vegetação predominante é a Mata Atlântica, representada por um exuberante conjunto de ecossistemas com floresta ombrófila, restingas, manguezais, vegetação de afloramentos rochosos e de encostas, em diferentes níveis de regeneração (Salgado e Vasquez, 2009). Originalmente, a Ilha Grande era coberta por uma floresta tropical densa. Atualmente e após séculos de devastação, a mesma se encontra mais preservada na porção centro-sul da ilha, devido à criação de Unidades de Conservação nessas áreas; o que não acontece com a porção norte-nordeste, que abriga inúmeras construções (hotéis, pousadas, restaurantes, residências, lojas, prédios públicos, píer, etc.), voltadas para atender à crescente demanda de atividades ligadas ao turismo. Apesar dos esforços voltados para a preservação da Ilha Grande, por meio da criação da Área de Proteção Ambiental dos Tamoios (APA dos Tamoios), constituindo-se na Reserva Biológica da Ilha Grande, o cenário atual é preocupante, devido à expansão das atividades ligadas ao turismo e às indústrias petrolíferas e nucleares na região.

Apesar de se tratar de um ambiente de grande importância ecológica, devido à rica biodiversidade local, estudos voltados para o conhecimento das condições ambientais e paleoambientais na Ilha Grande são escassos. Para a reconstituição das condições ambientais na Ilha Grande no Quaternário foram empregados como

principais indicadores os fitólitos, que são partículas de opala ($\text{SiO}_2\text{nH}_2\text{O}$) microscópicas que se formam por precipitação de sílica amorfa entre e nas células de diversas plantas vivas (Piperno, 1988). As plantas constroem uma estrutura ou molde onde são introduzidos os íons, posteriormente induzidos à precipitação e cristalização (Epstein, 2001). Com a morte da planta ou de partes dela (folhas e galhos), as partículas de sílica são depositadas no solo, constituindo-se em bons indicadores, pois podem ser preservadas na natureza ao longo do tempo. Neste sentido, objetivou-se caracterizar a ocorrência, o tipo e a distribuição dos fitólitos preservados em perfis de solo em bioma de Mata Atlântica, como subsídio ao entendimento das condições ambientais e paleoambientais da Ilha Grande. Para tal, foi necessário o estabelecimento de coleções de referência de fitólitos de plantas e de assembleias fitolíticas modernas de solos e sedimentos para posterior comparação com assembleias fósseis extraídas de perfis de solo e testemunhos.

Área de estudo

A Ilha Grande (44°W e $44^\circ40'\text{W}$; 23°S e $23^\circ40'\text{S}$), localizada no litoral sul fluminense (Figura 1), possui uma área total de 193 km^2 , o que representa 22% da área total do município de Angra dos Reis. Trata-se da maior ilha do litoral fluminense, coberta em sua maior parte por remanescente de Mata Atlântica.

O relevo da Ilha Grande é bastante montanhoso e acidentado. A topografia da ilha, em sua maior parte, encontra-se situada abaixo dos 500 m de altitude em relação ao nível do mar. As poucas exceções estão situadas na porção centro-leste da ilha, com destaque para o Pico do Papagaio (com 959 m) e a Serra do Retiro (com 1031 m) (Maciel et al., 1984). As vertentes na Ilha Grande são constituídas por encostas íngremes; afloramentos rochosos na forma de picos e costões no litoral; depósitos de tálus e colúvios, provenientes da erosão e deslizamentos nas encostas; canais fluviais bem encaixados em vales (Gama et al., 2009). A geomorfologia da área de estudo é representada, em grande parte, pelas vertentes e por uma estreita planície costeira flúvio-marinha, que ocorre desde o sopé das vertentes até o contato com o mar, sendo as mais extensas localizadas na borda sul da ilha (Gama et al., 2009), como em Lopes Mendes e nas praias do Sul e do Leste (Figura 1). Os solos na região são representados na sua quase totalidade por Cambissolos e Espodossolos (EMBRAPA, 2006). Os Cambissolos estão associados às encostas com

diferentes níveis de declividade, presentes em quase toda a ilha. Os Espodosolos são encontrados na planície litorânea, coberta por vegetação de restinga e com nível freático próximo à superfície na maior parte do ano.

O clima na região da Ilha Grande é tropical, com temperatura média anual entre 20°C (mínima) e 26°C (máxima). No verão, as temperaturas são elevadas, com ocorrência de chuvas abundantes e índice pluviométrico em

torno de 2000 mm por ano. Essas chuvas provocam grandes enxurradas e promovem a saturação do solo, responsável pela ocorrência eventual de movimentos de massa. A alta pluviosidade está relacionada à aproximação das massas de ar carregadas de umidade vindas do oceano Atlântico, intensa insolação e a influência do relevo, que atua como uma barreira orográfica (Salgado e Vasquez, 2009).

Figura 1. Ilha Grande no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, com os locais de amostragem (A). Litoral de Lopes Mendes (B) e Dois Rios (C). Fonte: B - Lara, L.F.; C - Yamin, M.

A vegetação da Ilha Grande é composta por formações características da Mata Atlântica, tais como: Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Ombrófila Densa Submontana (floresta de encosta), Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Formação Pioneira de Influência Marinha (restinga), Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha (mata alagadiça de planície e manguezal) e Vegetação de Afloramentos Rochosos (Salgado e Vasquez, 2009) (Figura 2). Trata-se de um exuberante conjunto de ecossistemas de grande importância, por abrigar uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil. Lamentavelmente, é também um dos biomas mais ameaçados do mundo, devido à

constante destruição dos habitats nas suas variadas tipologias e ecossistemas. No estado do Rio de Janeiro, os remanescentes de Mata Atlântica somavam um total de 30,7% em 2015 (Fundação SOS Mata Atlântica). Constituem-se em áreas muito ricas em diversidade biológica e que contam ainda com florestas em bom estado de preservação devido, principalmente, à dificuldade de ocupação do solo pelo relevo acidentado (Mesquita, 2004). A Ilha Grande possui uma grande área preservada, o que faz dela um importante remanescente de Mata Atlântica e de grande relevância para os ecossistemas associados a ela. A Ilha é protegida por Unidades de Conservação, devido a sua importância para a

preservação da biodiversidade local. São elas: o Parque Estadual da Ilha Grande, a Reserva Biológica da Praia do Sul e o Parque Estadual Marinho do Aventureiro (Oliveira, 2002, 2004). Essa proteção tem contribuído para a preservação desses ambientes, mas não impede que os mesmos sejam degradados. A floresta ombrófila densa, que

cobria quase toda a ilha, hoje é representada por formações secundárias, principalmente na parte norte-nordeste e nas áreas próximas às vilas do Abraão, de Dois Rios e de Provetá. A porção centro-sul da ilha possui remanescente da mata original, preservada em grande parte devido à dificuldade de acesso (Oliveira, 2004).

Figura 2. Fotos das principais formações vegetais da Ilha Grande: (A, B) floresta ombrófila; (C) restinga; (D) mata alagadiça; (E) manguezal; (F) vegetação de afloramentos rochosos. Fotos: A, B e E, ilhagrande.org; C, D e F, arquivo pessoal.

Materiais e métodos

Nas amostras coletadas foram feitas análises granulométricas, do teor de matéria orgânica, pH do solo e extração de fitólitos. As análises granulométricas e do teor de matéria orgânica foram realizadas para a caracterização dos materiais existentes nos perfis de solo e testemunhos selecionados para a investigação do conteúdo de fitólitos. A geocronologia dos principais eventos deposicionais foi estabelecida a partir de datações do carbono 14 pelo método do AMS (*Accelerator Mass Spectrometer*).

Os fitólitos presentes nas plantas e nos solos foram analisados para fins de quantificação, classificação dos morfotipos e cálculo dos índices fitolíticos (D/P e Bi%). Além dos estudos fitolíticos, foram também realizadas análises de isótopos estáveis de carbono, a fim de identificar o tipo de vegetação predominante no período estudado (plantas C₃ ou C₄) (Pessenda, 2005).

Trabalhos de campo

Três trabalhos de campo foram realizados na Ilha Grande para: (1) a escolha dos locais de

amostragem e reconhecimento das características físicas da área; (2) coleta de amostras de plantas e solos, e (3) realização de poços de sondagem para a coleta de amostras de sedimentos em subsuperfície. Para tal, foram utilizadas as instalações do Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (CEADS) da UERJ na Ilha Grande, após a autorização prévia do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) para o desenvolvimento da pesquisa. No total, foram coletadas 60 amostras de solo, sendo 5 de assembleias modernas (AM), 3 localizadas em Lopes Mendes e 2 na Vila de Dois Rios; e 55 de assembleias fósseis provenientes de três perfis de solo, sendo dois descritos em cortes de vertentes com 1,40m e 3,40m de profundidade, e um em trincheira com 1,00m de profundidade, na Vila de Dois Rios; além de 6 amostras provenientes de dois testemunhos na Praia de Lopes Mendes (Figuras 1 e 3). No testemunho 1 foram coletadas amostras nas profundidades de 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,15m; no testemunho 2 foram feitas amostragens entre 0,05 e 0,10; 0,10 e 0,15; 0,15 e 0,20 e 0,45 e 0,50m. Numa observação preliminar

ao microscópio não foram identificadas biomineralizações nas amostras desses 2 testemunhos por serem extremamente arenosas. Dessa forma, para uma análise mais detalhada foram selecionadas apenas as amostras de granulometria mais fina. Foram coletadas em cada AM pelo menos quatro amostras superficiais em diferentes locais, buscando uma

representatividade da área amostrada. As plantas localizadas imediatamente acima dos sedimentos superficiais também foram identificadas e coletadas, num total de 28 espécies pertencentes a 16 famílias botânicas, objetivando a comparação entre os fitólitos encontrados nos sedimentos com os das plantas produtoras em cada área.

Figura 3. Amostras coletadas para extração de assembleias fitolíticas fósseis: testemunhos 1 (A) e 2 (B) e perfis de solo 1 (C), 2 (D) e 3 (E). Fotos: arquivo pessoal.

Granulometria, Matéria Orgânica e pH do solo/sedimentos

As amostras foram analisadas no Laboratório de Sedimentologia da UFF, com base no método desenvolvido pela EMBRAPA (1997). As análises foram obtidas por dispersão com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e agitação em alta rotação com cerca de 20 gramas de amostra de solo/sedimentos. As frações areia grossa, média e fina foram separadas por peneiramento. A fração fina foi analisada pelo método da pipetagem, permitindo a separação entre as frações silte e argila.

A medição do pH das amostras de solo foi realizada por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão contendo solo/sedimento e água. Foram colocados 10 ml de solo em copos plásticos de 100 ml numerados; adicionados 25 ml de água; a amostra foi agitada com bastão de

vidro individual e colocada em repouso durante uma hora; em seguida, os eletrodos foram mergulhados em solução homogeneizada e procedida a leitura do pH (EMBRAPA, 1997).

O teor de MO do solo foi determinado pelo método da calcinação (*Loss of Ignition*). Foram obtidos 4 gramas de cada amostra previamente secas a 60°C. A secagem da amostra ocorreu durante uma semana aproximadamente, até que não houvesse variação no peso da mesma. Depois de secas, as amostras foram aquecidas na mufla a 250°C, por cerca de 5 horas. Em seguida, a amostra foi novamente pesada para a verificação da diferença entre o peso inicial e final, que indica o teor de matéria orgânica presente no solo (adaptado de Davies, 1974).

Análises dos fitólitos

A extração dos fitólitos das plantas foi realizada no Laboratório de Sedimentologia da

UFF. A extração foi feita através da oxidação por via úmica, utilizando uma solução de ácido nítrico (65%) e ácido sulfúrico (PA concentrado), numa proporção de uma quinta parte de nítrico para quatro quintos de sulfúrico.

A extração de fitólitos de solos e sedimentos seguiu o Protocolo de Extração de Fitólitos de Sedimentos e Solos, adaptado de Kelly (1990) e Parolin (LEPAFE, UNESPAR). O protocolo consiste na secagem e peneiramento de materiais inferiores a 2 mm de diâmetro. Em seguida é feita a descarbonização com ácido clorídrico 1N. Após essa fase, passa-se à eliminação da matéria orgânica com Ácido Nítrico (65%) e Peróxido de Hidrogênio. A eliminação dos óxidos de ferro é feita com Citrato de Sódio ($C_6H_5Na_3O_7$) e Ditionito de Sódio ($Na_2S_2O_4$). Em seguida é feita a remoção de argilas, com o uso de defloculante Hexametáfosfato de Sódio ($NaPO_3$)_n e EDTA ($C_{10}H_{16}N_2O_8$). Após essas etapas, os fitólitos são separados por densidade através do uso de Politungstato de Sódio (com 2,3 g/cm³ de densidade). As lâminas permanentes foram preparadas com Entelan. Foi utilizado um microscópio modelo Zeiss Axio Scope A1, com aumento de 500 a 630x, de propriedade do Laboratório de Microscopia Óptica e Morfoscopia da FFP-UERJ. Em cada lâmina foram contados no mínimo 200 fitólitos classificáveis. Os fitólitos que se apresentaram muito alterados ou quebrados foram contabilizados como não classificáveis. A identificação foi feita baseada no Código Internacional de Nomenclatura dos Fitólitos (Madella et al., 2005).

Foram calculados os seguintes índices fitolíticos: D/P - índice de densidade arbórea [*globular granulate* / (*bulliform parallelepipedal* + *bulliform cuneiform* + *acicular* + *short-cells*)]; Bi % - índice de estresse hídrico [(*bulliform parallelepipedal* + *bulliform cuneiform*) / (*bulliform parallelepipedal* + *bulliform cuneiform* + *acicular* + *short-cells*) x 100].

Datação por ¹⁴C-AMS e composição isotópica ($\delta^{13}C$)

O preparo das amostras para datação foi feito no Laboratório de Radiocarbono da UFF. A fração de matéria orgânica total do solo (SOM) foi separada e convertida em grafite (Macario et al. 2013, 2015). Em seguida, as amostras foram enviadas para a Universidade da Georgia nos Estados Unidos, onde foram datadas. As idades obtidas foram posteriormente calibradas pelo programa OxCal (Bronk Ramsey 2009), utilizando a Curva de Calibração de amostra

atmosférica para o Hemisfério Sul SHcal13 (Hogg et al. 2013) e são apresentadas em anos cal AP.

Para a determinação do $\delta^{13}C$, as amostras foram preparadas no Laboratório de Sedimentologia e encapsuladas no Laboratório de Radiocarbono da UFF. Foram então enviadas ao *Stable Isotope Facility* da Universidade da Califórnia nos Estados Unidos, para análise por espectrometria de massa convencional.

Resultados e discussão

Fitólitos de Plantas

De um total de 28 plantas de 16 famílias analisadas, em apenas três não foram observados fitólitos e/ou tipos de silicificação. São elas: *Ouratea cuspidata* (Ochnaceae), *Tibouchina* sp. e *Miconia latifolia* (Melastomataceae). As famílias que produziram maior quantidade de fitólitos foram Bromeliaceae (como observado por Piperno, 2006), Fabaceae (como encontrado nos estudos de Mercater et al., 2009 e Collura e Newman, 2016), Clusiaceae, Commelinaceae, Hypoxidaceae, Meliaceae e Pteridaceae. Da família Myrtaceae foram analisadas três espécies, duas delas boas produtoras e apenas uma apresentou baixa produção de fitólitos e/ou tipos de silicificação. Já as famílias Araceae e Rubiaceae apresentaram baixa produção de fitólitos e/ou tipos de silicificação. A família Melastomataceae, como já observado por Piperno (2006), também não se mostrou boa produtora. Entre as quatro espécies analisadas apenas duas produziram fitólitos. Os tipos de fitólitos observados variam de acordo com as famílias, com o predomínio de globulares (*granulate* e *psilate*), traqueídeos, células da epiderme em forma de *puzzle* e *elongate*. A ocorrência desses morfotipos está diretamente relacionada à predominância de vegetação lenhosa. A família Bromeliaceae produz, sobretudo, o tipo *globular echinate* (Figura 4).

Assembleias fitolíticas modernas

Foram identificados um total de cinco tipos de formação vegetal, distribuídas em diferentes áreas da Ilha Grande (Figura 1): AM 1 (restinga arbórea próxima a um brejo); AM 2 (restinga arbórea próxima à praia); AM 3 (mata de transição); AM 4 (mata densa secundária) e AM 5 (mata densa).

Na AM 1 foram identificadas plantas das famílias Rubiaceae, Myrtaceae, Ochnaceae, Bromeliaceae (2 gêneros), Araceae, Pteridaceae e Cyperaceae.

Figura 4. Fitólitos observados nas plantas coletadas: (1) Myrtaceae 1: (a) traqueídeo; (b) puzzle; (c) globular granulate; (2) *Vriesea neoglutinosa* (Bromeliaceae): (a, c) globular echinate e elongate (b) globular echinate; (3) *Aechmea gracillis* (Bromeliaceae): (a, c) globular echinate, (b) traqueídeo; (4) *Acrostichum danaeifolium* (Pteridaceae): (a) elongate, (b) estômato, (c) puzzle; (5) *Clusia criuva* subsp. *parviflora* (Clusiaceae): (a, b) globular granulate, (c) elongate; (6) Myrtaceae 2: (a) traqueídeo, (b) puzzle, (c) globular granulate; (7) *Curculigo* sp. (Hypoxidaceae): (a, b, c) globular echinate; (8) *Miconia prasina* (Melastomataceae): (a) globular psilate, (b) traqueídeo, (c) elongate; (9) *Canistropsis microps* (Bromeliaceae): (a, b, c) globular echinate; (10) *Billbergia pyramidalis* (Bromeliaceae): (a) globular echinate, (b) traqueídeo, (c) elongate; (11) Myrtaceae 3: (a) poliédrico, (b) traqueídeo, (c) elongate; (12) *Bauhinia* sp. (Fabaceae): (a) globular granulate, (b) puzzle, (c) traqueídeo; (13) *Trichilia hirta* (Meliaceae): (a, b) traqueídeo, (c) elongate; (14) *Guapira opposita* (Nyctaginaceae): (a, b, c) elongate.

Identificou-se na AM 2 plantas das famílias Melastomataceae (2 gêneros), Clusiaceae e Commelinaceae. Na AM 3 verificou-se a presença de plantas das famílias Bromeliaceae, Cyperaceae, Piperaceae, Hypoxidaceae e Myrtaceae. As plantas identificadas na AM 4 são das famílias Melastomataceae (2 espécies), Bromeliaceae (2 gêneros) e Cyatheaceae. Na AM 5 foram identificadas plantas das famílias Myrtaceae, Fabaceae, Meliaceae, Nyctaginaceae, Rubiaceae e Araceae. Os resultados das análises fitolíticas nas assembleias modernas refletiram a

vegetação atual e podem ser usados como coleção de referência na interpretação dos resultados das assembleias fósseis encontradas nos testemunhos e perfis de solo.

O estoque de fitólitos não foi muito elevado nas AM analisadas. Os menores estoques foram verificados nas AM1 e AM2, constituídas por vegetação de restinga arbórea sobre substrato arenoso. Os maiores estoques foram observados na AM3 (Mata de transição) e AM5 (Mata densa). Estas áreas apresentam vegetação de mata mais fechada, desenvolvida sobre o embasamento

alterado e em substrato com presença de finos (solo siltoargiloso) (Tabela 1 e Figura 5).

As amostras de AM analisadas apresentaram uma porcentagem maior de fitólitos classificáveis (59-83%) em relação aos não classificáveis (17-41%), evidenciando, assim, uma boa preservação desses bioindicadores (Figura 5). A AM 2 exibiu a menor porcentagem de fitólitos classificáveis (59%), provavelmente porque está mais próxima à praia em relação às demais e por isso mais suscetível à ação erosiva dos ventos e maior facilidade de percolação e alteração no substrato arenoso (Tabela 1 e Figura 5). As assembleias modernas coletadas sob matas em solo mais desenvolvido (AM 3, AM 4 e AM 5) apresentaram porcentagens elevadas de preservação dos fitólitos (Figura 5). Ramos (2014) e Coe et al. (2015) encontraram resultados semelhantes em assembleias modernas da restinga de Maricá (no estado do Rio de Janeiro), onde a quantidade de fitólitos é menor nas comunidades vegetais mais próximas à praia. A quantidade de fitólitos não classificáveis indica o grau de alteração sofrido pelos mesmos e aponta para a intensidade dos processos erosivos na área estudada. Assim, em assembleias modernas se espera encontrar um predomínio de fitólitos classificáveis, como observado por Borba-Roschel (2006) em amostras de turfeira no cerrado brasileiro. Em áreas onde os processos erosivos são muito intensos, essa porcentagem pode ser menor, como verificado por Coe (2009) na Região dos Lagos (RJ), e mesmo com o predomínio de fitólitos não classificáveis, como no caso da Serra do Espinhaço Meridional (MG) (Chuang, 2012).

Quanto aos tipos de fitólitos observados, na AM 1 (restinga arbórea com muitas raízes) e na AM 2 (restinga arbórea), predominaram os morfotipos *acicular* e *bulliform*, que possuem maior resistência aos processos intempéricos e por isso conseguem se preservar com maior eficiência (Tabela 1 e Figura 5). Esses morfotipos também foram observados em outros trabalhos desenvolvidos em áreas sujeitas a processos erosivos intensos (Augustin et. al, 2014; Barros et al., 2016). As plantas coletadas nessas assembleias modernas, como as Bromeliaceae *Vriesea neoglutinosa* e *Aechmea gracilis*, a Araceae *Anthurium*, a Commelinaceae *Dichorisandra thyrsiflora* produzem fitólitos em abundância, como os morfotipos *globular granulate* e *elongate*. Entretanto, esses morfotipos não foram encontrados nas análises dos sedimentos (Tabela 1 e Figura 5). Isso se deve, provavelmente, às características do substrato, já que as AM 1 e 2 estão localizadas em uma restinga arbórea próxima à praia, desenvolvida

sobre sedimentos arenosos com pouca capacidade de retenção de fitólitos, como observado por Ramos (2014) e Coe et al. (2015) na restinga de Maricá.

A AM 3 (mata de transição), diferentemente das AM 1 e AM 2 (restinga arbórea), possui um percentual elevado de fitólitos do tipo *globular granulate*, comum em áreas de mata com plantas lenhosas, além dos tipos *elongate* e *globular psilate* (tabela 1 e figura 5). A presença desses dois últimos morfotipos se dá, provavelmente, pela existência das Bromeliaceae *Aechmea weibachii* e *Aechmea gracilis*, ambas coletadas nesta AM, além da Cyperaceae *Scleria* e da Hypoxidaceae *Curculigo*, que são grandes produtoras de fitólitos do tipo *globular psilate* e *elongate* (figura 4). A preservação desses morfotipos mais sensíveis se dá provavelmente pelo fato da AM ter sido coletada em uma mata de transição, sobre um substrato menos arenoso e mais pedogeneizado, quando comparado com as AM 1 e 2. Este padrão foi também observado nas comunidades vegetais da Restinga de Maricá por Coe et al. (2015).

Na AM 4 há o predomínio de tipos mais resistentes à alteração, como o *bulliform parallelepipedal*, mas também uma pequena porcentagem de *globular granulate* (Tabela 1 e Figuras 5 e 6), que podem ter sido produzidos pelas Bromeliaceae *Canistropsis microps* e *Bilbergia pyramidalis* (Figura 4).

Na AM 5, além dos morfotipos *bulliform cuneiform* e *parallelepipedal* e *acicular*, foi encontrado também o tipo *globular psilate*, que pode ter sido produzido pela Myrtaceae 3 e a Rubiaceae coletadas nesta AM (Tabela 1 e Figuras 4, 5 e 6).

Tabela 1. Resultados dos indicadores fitolíticos e isótopos do carbono

Amostra Profundidade (cm)	Tipos de fitólitos (% dos classificáveis)								Classificação (%)		Total de fitólitos (unidades)	Índices		
	Bulliform paralelepipedal	Bulliform cuneiform	Globular granulate	Globular psilate	Elongate	Acicular	Bilobate	Trapeziform	Classificáveis	Não classificáveis		D/P	Bi %	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
AM 1	21,7	33,7	0,0	0,0	0,0	44,6	0,0	0,0	74,8	25,2	111	0,00	55,4	#
AM 2	20,6	30,9	0,0	0,0	0,0	48,5	0,0	0,0	58,6	41,4	116	0,00	51,5	#
AM 3	30,3	3,8	47,0	8,1	8,1	0,9	0,0	1,7	80,7	19,3	290	1,50	93,0	#
AM 4	39,5	0,0	7,6	0,0	0,0	52,9	0,0	0,0	71,7	28,3	166	0,08	42,7	#
AM 5	16,9	47,7	0,0	15,9	1,0	18,5	0,0	0,0	83,3	16,7	234	0,19	77,8	#
T1 5-10	17,3	28,0	0,0	54,7	0,0	0,0	0,0	0,0	69,4	30,6	108	#	#	#
T1 10-15	23,3	31,5	0,0	0,0	0,0	45,2	0,0	0,0	72,3	27,7	101	#	#	#
T2 5-10	34,8	24,6	0,0	0,0	0,0	40,6	0,0	0,0	69,0	31,0	100	#	#	#
T2 10-15	24,1	11,2	20,7	0,0	14,7	22,4	0,0	6,9	71,6	28,4	162	#	#	#
T2 15-20	25,7	32,9	0,0	0,0	0,0	41,4	0,0	0,0	76,9	23,1	91	#	#	#
T2 40-45	21,6	35,1	0,0	0,0	0,0	43,2	0,0	0,0	73,3	26,7	101	#	#	#
P1 - 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	#
P1 - 20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	-26,16
P1 - 35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	-25,55
P1 - 55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	-25,52
P1 - 75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	#
P1 - 95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	-25,64
P1 - 115	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	-25,74
P1 - 135	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	#	#	#
P2 - 5	31,7	39,0	0,0	29,3	0,0	0,0	0,0	0,0	69,5	30,5	59	0,41	100,0	-25,54
P2 - 15	23,9	17,4	0,0	13,0	19,6	26,1	0,0	0,0	45,1	54,9	102	0,19	61,3	-29,32
P2 - 45	24,0	64,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	48,1	51,9	52	0,00	100,0	-27,23
P2 - 75	28,7	40,6	0,0	0,0	2,0	22,8	1,0	5,0	56,4	43,6	179	0,00	70,7	-26,80
P2 - 95	7,5	2,8	0,9	5,6	1,9	81,3	0,0	0,0	61,1	38,9	175	0,07	11,2	-27,53
P2 - 115	13,8	20,3	1,4	52,9	0,0	11,6	0,0	0,0	70,8	29,2	195	1,19	74,6	#
P2 - 135	25,8	32,5	0,0	0,0	0,0	41,7	0,0	0,0	66,8	33,2	244	0,00	58,3	-27,06
P2 - 175	26,6	18,8	1,6	0,0	3,1	48,4	1,6	0,0	66,0	34,0	97	0,02	47,5	-26,60
P2 - 215	19,0	13,2	0,0	0,0	0,0	66,9	0,0	0,8	68,8	31,3	176	0,00	32,2	#
P2 - 255	16,2	12,2	10,8	10,8	28,4	9,5	12,2	0,0	60,7	39,3	122	0,43	56,8	-25,29
P2 - 295	32,7	23,1	0,0	44,2	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7	37,3	83	0,79	100,0	-26,10
P2 - 335	15,5	29,3	0,0	0,0	0,0	55,2	0,0	0,0	52,3	47,7	111	0,00	44,8	-26,14
P3 - 5	0,9	14,0	9,6	70,2	2,6	2,6	0,0	0,0	87,0	13,0	131	4,55	85,0	-26,83
P3 - 15	42,7	16,5	18,3	12,2	0,0	9,8	0,0	0,6	85,0	15,0	193	0,44	85,1	-28,54
P3 - 35	46,0	33,3	6,1	0,0	2,7	11,1	0,4	0,4	78,1	21,9	334	0,07	87,0	-27,42
P3 - 75	8,6	9,1	69,5	0,0	2,7	8,6	0,0	1,6	77,9	22,1	240	2,50	63,5	-24,40
P3 - 95	6,4	5,3	0,0	87,7	0,0	0,0	0,6	0,0	82,2	17,8	204	7,14	95,2	-24,53

material não analisado

D/P= globular granulate / (bulliform paralelepipedal + bulliform cuneiform + acicular + bilobate + trapeziform)

Bi%= [(bulliform paralelepipedal + bulliform cuneiform) / (bulliform paralelepipedal + bulliform cuneiform + acicular + bilobate + trapeziform) x 100]

Figura 5. Resultados das análises fitolíticas das Assembleias Modernas: (A) Estoque de fitólitos; (B) Classificação dos fitólitos; (C) Tipos de fitólitos.

Figura 6. Fitólitos observados nas amostras de solo: (A) *bulliform cuneiform*; (B) *bulliform parallelepipedal*; (C) *elongate crenate*; (D) *elongate psilate*; (E) *globular granulate*; (F) *globular psilate*; (G) *saddle*; (H) *rondel*; (I) *bilobate*; (J) *acicular*.

Assembleias fitolíticas fósseis

Testemunhos

O testemunho 1 (T1) foi realizado na praia de Lopes Mendes em uma área de brejo onde também foi coletada a AM1 (Figura 3). Com 62 centímetros de profundidade, o T1 apresenta uma textura areno-siltosa, com ligeiro aumento no tamanho dos grãos em direção à superfície, com predomínio da fração silte (560 g/kg), seguida por areias (340 g/kg) (Figura 7). O teor de matéria orgânica do T1 corresponde a 12,5 g/kg na base e 30 g/kg na superfície.

O testemunho 2 (T2) foi coletado na praia de Lopes Mendes em uma área coberta por Mata de Transição, onde também foi coletada a AM3 (Figura 3). Com 82cm de profundidade, o T2 apresentou uma textura areno-siltosa, com predomínio da fração silte (580 g/kg), seguida por areias (320 g/kg) (Figura 7).

O teor de matéria orgânica (MOS) nas amostras analisadas na base do testemunho 2 corresponde a 24 e 51 g/kg. Essa porcentagem aumentou em direção à superfície para 37,4 e 42,5 g/kg. Ambos os testemunhos apresentaram uma variação considerável no teor de MOS e diminuição com o aumento da profundidade, seguindo o padrão normal de distribuição da matéria orgânica no solo. Isto ocorre devido à intensa atividade biológica nas camadas mais superficiais, o que leva a uma rápida mineralização e humificação da MOS (Bartoli, 1980; Alexandre et al., 1997). Este padrão de diminuição da MOS foi encontrado em vários estudos prévios de solos desenvolvidos em regiões tropicais e temperadas (Balesdent e Guillet, 1982; Schwartz, 1991; Schwartz et al., 1992).

O estoque de fitólitos nos testemunhos também foi baixo, principalmente no T1, devido à grande quantidade de areias nos mesmos. A quantidade de fitólitos observados no T1 é homogênea entre as profundidades analisadas. No T2 o estoque de fitólitos é menos homogêneo, com um máximo na camada entre 10 e 15 cm de profundidade (Tabela 1 e Figura 7).

Nos dois testemunhos há predomínio de fitólitos do tipo classificáveis (cerca de 70%). Nos testemunhos 1 e 2 predominaram os tipos *bulliform* (*parallelepipedal* e *cuneiform*) e *acicular* (Tabela 1 e Figuras 6 e 7), que são mais robustos e mais resistentes às intempéries do ambiente (Cabanés e Shahack-gross, 2015; Alexandre et al., 1997), e o morfotipo *globular psilate*, que pode ter sido produzido pelas Cyperaceae *Sceleria* e pela Araceae *Anthurium*, coletadas na área do Testemunho 1 (Figura 4).

A maior quantidade de fitólitos no testemunho 2 foi encontrada entre 10 e 15 cm de profundidade, com 162 unidades, contra 100 unidades na amostra mais superficial e na mais profunda, com destaque para os tipos *globular granulate*, *elongate* e *trapeziform* (Figuras 6 e 7). A predominância desses morfotipos pode ter ocorrido devido à maior porcentagem de sedimentos finos e alta concentração de MOS no T2. Essas características do material também podem explicar a maior permanência de alguns morfotipos mais frágeis de fitólitos nessa profundidade, além de indicar um ambiente mais úmido, com presença de fitólitos do tipo *globular granulate*, produzidos por lenhosas.

Perfis de solo

Os valores de pH das amostras coletadas nos perfis de solo variaram entre 4,6 e 6,5, o que aponta para uma condição de acidez alta e média deste ambiente. Solos ácidos tendem a ter mais sílica livre disponível para as plantas, sendo favoráveis à produção e conservação de fitólitos (Piperno, 2006). Sob condições de pH alcalino, os fitólitos podem se dissolver e distúrbios mecânicos podem ocasionar a perda de suas ornamentações mais delicadas (Cabanés et al., 2011).

Perfil 1

O Perfil 1, com 135 cm de profundidade, foi coletado na Vila de Dois Rios, em uma área de mata secundária (figura 3). Apresentou pouca variação na coloração, variando do marrom forte (7.5YR 4/6), da base do perfil até 35 cm de profundidade, vermelho (2.5YR 4/6), de 35 a 20 cm de profundidade, a marrom muito escuro (7.5YR 2.5/3) de 20 cm até a superfície. A granulometria variou com a profundidade: silte e argila representam as frações predominantes ao longo do perfil. Entre 135 cm (base do perfil) e 75 cm de profundidade, há o predomínio da fração argila (400-490 g/kg). Dos 35 cm aos 20 cm predominou a fração silte (380-480 g/kg). A amostra mais superficial (6 cm) mostrou um aumento expressivo na porcentagem da fração areia (430 g/kg).

Os valores da MOS encontrados na base do perfil são semelhantes ao verificado na camada mais superficial (48 g/kg). Da base em direção ao topo, há um aumento considerável em 75 cm de profundidade (93 g/kg), maior valor encontrado neste perfil, para em seguida decrescer em direção à superfície. Este perfil não apresentou o padrão normal de distribuição da MOS, de diminuição com o aumento da profundidade.

Figura 7. Resultados das análises de matéria orgânica, granulométricas e fitolíticas dos testemunhos 1 e 2.

No Perfil 1 não foram observados fitólitos, devido provavelmente à intensidade dos processos erosivos, associando uma topografia muito acentuada e um clima muito úmido, com chuvas de grande intensidade, sobretudo no verão. As análises isotópicas do carbono apresentaram valores do $\delta^{13}\text{C}$ entre -26,16 e -25,52‰, indicando uma vegetação com predomínio de plantas do tipo C_3 , provavelmente lenhosas.

Perfil 2

O perfil 2, com 335 centímetros de profundidade, foi coletado na trilha entre Abraão e Dois Rios, em uma área com presença de mata secundária (Figura 3). Apresentou coloração variando de marrom forte (7.5YR 4/6), da base até 115 cm de profundidade, a marrom amarelado (10YR 5/6), de 115 cm até o topo do perfil. A granulometria é bastante homogênea ao longo de todo o perfil, com poucas variações nas frações arenosas e finas. A fração areia é ligeiramente predominante, desde a base até a profundidade de 215 centímetros (440-560 g/kg); na profundidade de 135 cm ocorre uma pequena diminuição na porcentagem de areias em relação à de finos (com destaque para a argila); em 115 cm de profundidade a porcentagem de areia volta a apresentar um pequeno acréscimo em relação às frações finas, permanecendo assim até o topo do perfil, variando entre 500 e 560 g/kg (Figura 8).

O perfil apresentou uma grande variação nos teores de MOS (de 45 a 100 g/kg) e, ao contrário do padrão esperado, estes aumentaram com a profundidade (Figura 8).

O estoque de fitólitos do Perfil 2 é bastante variável e não segue a tendência normal de diminuição com o aumento da profundidade. Os menores estoques de fitólitos estão mais próximos à superfície (5 e 45 cm); os maiores estoques foram encontrados nas profundidades entre 75 e 135 cm, associados ao aumento das frações mais finas; e estoques médios nas profundidades inferiores (175 a 335 cm) (Tabela 1 e Figura 8). Apesar dos processos erosivos intensos na área, em geral as amostras apresentaram uma boa porcentagem de fitólitos classificáveis, que não seguem o padrão normalmente encontrado de diminuição com o aumento da profundidade. A variação é pequena, mas em algumas profundidades (por exemplo, 115 cm) há mais fitólitos classificáveis que na superfície (Tabela 1 e Figura 8). Entre os tipos de fitólitos predominam os *bulliform*, tanto *parallelepipedal* quanto *cuneiform*, *globular psilate* e *elongate*, além do *acicular*, encontrado em 9 das 12 profundidades analisadas (Tabela 1 e Figuras 6 e 8). Apenas em duas profundidades, 15

e 45 cm, foi observada uma maior porcentagem de fitólitos não classificáveis em relação aos classificáveis. Nestas profundidades, os morfotipos mais resistentes, como *bulliform* (*parallelepipedal* e *cuneiform*) e o *acicular* apresentaram maior porcentagem quando comparados aos outros tipos. O morfotipo *globular granulate* foi observado em pequenas porcentagens em pelo menos quatro profundidades deste perfil (95, 115, 175 e 255 cm). Os valores do $\delta^{13}\text{C}$ encontrados correspondem a -29,32 e -25,29‰, característicos de plantas C_3 (Tabela 1 e Figura 8). A alta porcentagem de fitólitos não classificáveis e a descontinuidade do estoque de fitólitos com o aumento da profundidade no Perfil 2 podem estar associados à elevada declividade do relevo, mais exposta à ação dos processos erosivos intensos, devido à intensa pluviosidade decorrente do clima quente e muito úmido da ilha.

Perfil 3

O perfil 3, com 95 centímetros de profundidade, foi coletado em uma trincheira aberta na trilha entre a Vila de Dois Rios e a praia de Parnaioca (Figura 3). A coloração apresentou uma variação maior ao longo do perfil, quando comparado aos demais, entre marrom forte (7.5YR 2.5/3) da base até 75 cm de profundidade, marrom escuro (10YR 3/3), de 75 a 55 cm de profundidade, marrom amarelado (10YR 4/4), de 55 a 35 cm de profundidade, e marrom acinzentado muito escuro (10YR 3/2), de 35 cm até o topo do perfil.

A análise granulométrica indicou o predomínio da fração areia grossa, desde a base (95 cm) até o topo, variando entre 520 e 590 g/kg, em relação às demais frações encontradas (areia média, areia fina, silte e argila). Os finos encontrados são pouco representativos (100 g/kg de silte e 60 g/kg de argila) e se destacam na profundidade de 35 cm (Figura 9).

Quanto a MOS, o perfil apresentou teores similares na base (95 cm) e nas camadas superficiais (15 a 5 cm) e teores menores (7,5 g/kg) nas profundidades de 55 a 35 cm, contrastando com o padrão normal de distribuição com a profundidade (Figura 9).

O estoque de fitólitos, tal como observado em relação a MOS, não segue a tendência normal de diminuição com o aumento da profundidade. Neste caso, foi observada uma tendência de aumento do estoque da base até a profundidade de 35 cm, onde se encontra o máximo do perfil. A partir daí ocorre uma diminuição, do estoque na direção da superfície (Figura 9).

Figura 8. Resultados das análises de matéria orgânica, granulométricas, fitolíticas e isotópicas do Perfil 2.

Figura 9. Resultados das análises de matéria orgânica, granulométricas, fitolíticas e isotópicas do Perfil 3.

Isso talvez possa ser explicado devido a processos de eluviação e acumulação que ocorrem nesse solo, especialmente no horizonte B, caracterizado pelo acúmulo de MOS e de fitólitos. O perfil 3 foi o que apresentou maior estoque de fitólitos entre todos os pontos coletados, indicando um ambiente de maior estabilidade em relação aos processos erosivos, quando comparado aos demais perfis. A amostragem nos demais perfis ocorreu em encostas com elevada declividade; o perfil 3, diferentemente, corresponde a uma área plana onde foi aberta uma trincheira, portanto, menos susceptível à remobilização de materiais pelos processos erosivos de encostas. Solo semelhante foi trabalhado por Calegari et al. (2017) em Linhares (Espírito Santo), com evidências de forte transporte de material a partir dos horizontes superficiais em direção à superfície durante o processo de podzolização, acarretando acúmulo de material fitolítico no topo do horizonte B. O perfil 3 apresentou uma porcentagem de fitólitos classificáveis muito superior à de não classificáveis (tabela 1 e figura 9), possivelmente pelas mesmas características apontadas anteriormente. Na camada onde os percentuais de silte e argila são mais expressivos notou-se um pequeno aumento no estoque de fitólitos (tabela 1 e figura 9), evidenciando a maior capacidade de retenção destes em meio aos sedimentos finos. Foram encontrados fitólitos dos tipos *bulliform*, *parallelepipedal* e *cuneiform*, *acicular*, *globular psilate*, *globular granulate*, *elongate*, *trapeziform* e uma pequena porcentagem do morfotipo *bilobate*. Os tipos de fitólitos encontrados não variaram muito entre os Perfis 2 e 3, mostrando uma coerência com a produção pelas plantas da região. Os valores do $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre -24,10 e -28,54‰, indicando o predomínio de plantas C3, provavelmente lenhosas (Figura 9).

Foram realizadas duas datações de Matéria Orgânica do Solo, uma a 95 cm de profundidade, coletada na base do perfil 3, que apresentou idade de 3497 (± 20) ^{14}C anos AP/ 3829-3639 anos cal AP, e outra a 55 cm de profundidade, com idade de 981 (± 20) anos ^{14}C AP / 919-794 anos cal AP (figura 9). Essas idades, juntamente com os resultados das análises fitolíticas e da composição isotópica ($\delta^{13}\text{C}$), indicam que não ocorreram grandes mudanças nas características das formações vegetais deste local da Ilha Grande nos últimos 4000 anos, quando comparadas à composição da cobertura vegetal atual.

Os resultados obtidos nessa pesquisa são corroborados por outros estudos realizados na Ilha Grande e no Sudeste do Brasil. Silva (2015),

através de análises multiproxies de um testemunho coletado na Ilha Grande, identificou condições ambientais estáveis na Ilha nos últimos 2300 anos cal AP, com dois períodos distintos: entre 5147 e 2856 anos cal AP sem evidências de enxurradas e entre 2856 e o presente com enxurradas frequentes. É possível que a ocorrência dessas enxurradas tenha contribuído para a não preservação dos fitólitos em algumas amostras analisadas nesse estudo. Vidotto (2008), em cinco perfis analisados no Sudeste do Brasil, observou que os valores de ^{13}C obtidos ($\sim -27\text{‰}$) apontam para uma fase de expansão de florestas nos últimos 15.000 anos AP, provavelmente associada à presença de um clima mais úmido que o período anterior. Análises feitas por Coelho et al. (1999) na Baía de Sepetiba caracterizaram uma fase úmida entre 6300 e 1350 anos AP, apesar de uma pequena redução na umidade a partir dos 4650 anos AP. Para o período entre 1350 a 10 anos AP, evidenciou-se um padrão climático mais úmido em relação ao atual. Neste estudo, os valores de ^{13}C obtidos evidenciaram um clima mais úmido nas amostras mais superficiais dos três perfis analisados. Tal tendência também foi vista por Ybert et al. (2003) a partir de estudos desenvolvidos na região de Cananéia-Iguape (litoral do estado de São Paulo), distante cerca de 370 km a oeste da Ilha Grande. Os autores afirmam que no período compreendido entre 5.000 anos cal AP e o presente, o clima não mudou significativamente, exceto por três episódios ligeiramente mais úmidos: entre 3.410 e 2.615 anos cal AP, em 1.695 anos cal AP e entre 1.300 e 660 anos cal AP, sendo este último o mais úmido. Barreto et al. (2005), através de estudos palinológicos em testemunho coletado na porção oriental da Baía de Guanabara, observaram que a Floresta Ombrófila predominava na região desde 4210 anos AP, apresentando expressiva concentração e grande riqueza de tipos polínicos, indicando a existência de uma exuberante Mata Atlântica, concordando com Amador (1997). Calegari et al. (2015) também identificaram uma fase de expansão da floresta atlântica no litoral norte do Estado do Espírito Santo a partir de 3400 anos cal AP.

Conclusões

A integração de dados obtidos a partir de análises de fitólitos, isótopos estáveis, granulometria de solos e sedimentos, e idades do ^{14}C permitiu caracterizar as condições ambientais e paleoambientais relacionadas à formação do bioma Mata Atlântica na Ilha Grande durante o Holoceno.

As análises de fitólitos indicaram que, nos locais estudados, a vegetação arbórea predominou sob condição de clima tropical úmido. Todos os perfis apresentaram valores característicos de vegetação com predomínio de plantas C3, provavelmente de mata bastante desenvolvida, com morfotipos de fitólitos predominantes de lenhosas (*globular granulate* e *psilate*), demonstrando que não houve variação no tipo de vegetação durante o período analisado. Apesar da pequena variação dos valores isotópicos ao longo de cada perfil, foi observada uma tendência nas sequências analisadas: todos os perfis apresentaram valores mais empobrecidos nas amostras mais superficiais, sugerindo uma pequena redução da umidade em períodos mais antigos.

Não foram observadas grandes mudanças nas características das formações vegetais em relação às atuais, demonstrando um padrão bioclimático para os últimos 4000 anos semelhante ao atual e evidenciando que a cobertura vegetal da Ilha Grande tem mantido uma condição de equilíbrio com as características climáticas e edáficas da região.

De maneira geral não foram encontradas grandes quantidades de fitólitos nas amostras analisadas. As plantas analisadas são, em geral, boas produtoras, a granulometria e o pH dos solos amostrados são favoráveis à preservação dos fitólitos, sua escassez só pode ser atribuída à intensidade dos processos geomorfológicos de encostas, devido à declividade da maior parte das vertentes da Ilha, assim como ao clima caracterizado pela alta pluviosidade.

Foram observados principalmente os tipos de fitólitos mais robustos e, portanto, mais resistentes à erosão física e química, como os *bulliform*, *elongate* e *acicular*. Os tipos mais frágeis, como os *short-cells* das gramíneas, quase não foram encontrados, não permitindo, portanto, o cálculo de alguns índices fitolíticos. A influência da dinâmica ambiental parece mais intensa na área do perfil 1, onde não foram encontrados fitólitos. Enquanto que no perfil 3, situado numa área plana, foi verificado o maior estoque de fitólitos, incluindo os tipos mais variados e frágeis.

Apesar das limitações encontradas, principalmente nos pontos que sofrem com processos erosivos muito intensos e com um alto grau de declividade como a Ilha Grande, o uso de fitólitos se mostrou eficiente na compreensão da evolução da paisagem e das características do ambiente ao longo do tempo, principalmente quando associado a outros indicadores.

Agradecimentos

Agradecemos ao SEPES-INEA pela autorização para a realização desta pesquisa. Ao CEADS da UERJ, que disponibilizou a infraestrutura de laboratórios, alojamento, transporte e alimentação. Aos laboratórios de Sedimentologia da UFF, de Geociências (LABGEO) e Microscopia Óptica e Morfoscopia (LAMON) da FFP-UERJ, onde foram feitas diversas análises ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Ao Laboratório de Radiocarbono da UFF pelas datações.

Referências

- Alexandre, A., Meunier, J.D., Colin, F., Koud, J.M., 1997. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 677-682.
- Amador, E.S., 1997. Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza. Edição do Autor, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 539p.
- Andrade, M., 2008. Paleoprodutividade costeira da região de Cabo Frio, Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 13.000 anos cal AP. Tese de doutorado - Dep. de Geoquímica, UFF, Niterói, RJ. 275p.
- Angulo, R.J., Souza, M.C., 2015. Revisão conceitual de indicadores costeiros de paleoníveis marinhos quaternários no Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, [S.l.], 5(2).
- Augustin, C.H.R.R., Coe, H.H.G., Chueng, K.F., Gomes, J.G., 2014. Analysis of geomorphic dynamics in ancient quartzite landscape using phytolith and carbon isotopes, Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. *Géomorphologie (Paris)* 4, 355-37.
- Balesdent, J., Guillet, B., 1982. Les datations par le ¹⁴C des matières organiques des sols. Contribution à l'étude de l'humification et du renouvellement des substances humiques. *Sciences du sol* 2, 93- 112.
- Barros, L.F.P., Coe, H.H.G., Seixas, A.P., Magalhães, A.P., Macario, K.C.D., 2016. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences* 67, 71-88.
- Barreto, C.F., Barth, O.M., Luz, C.F.P., Baptista Neto, J.A., Vilela, C.G., 2005. Reconstrução paleoambiental do Holoceno da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, através de análise palinológica: resultados preliminares. X

- Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Guarapari, 1–6.
- Bartolli, F., Wilding, L.P., 1980. Dissolution of biogenic opal as a function of its physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 873-878.
- Borba-Roschel, M., Alexandre, A., Varajão, A.F.C., Meunier, J.D., Varajão, C.A.C., Colin, F., 2006. Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in the Brazilian cerrado. *Journal of Geochemical Exploration* 88, 172-176.
- Bremond, L., Alexandre, A., Peyron, O., Guiot, J., 2005. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography* 32, 311-327.
- Bronk Ramsey, C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51(1), 337-360.
- Bruno, R.L., Vilela, C.G., Antônio, J., Neto, B., 2013. Reconstrução paleoambiental da Laguna de Maricá, RJ, com base em foraminíferos bentônicos. *Pesquisa em Geografia* 40(3), 259-273.
- Cabanes, D., Weinera, S., Shahack-Gross, R., 2011. Stability of phytoliths in the archaeological record: a dissolution study of modern and fossil phytoliths. *Journal of Archaeological Science* 38, 2480-2490.
- Calegari, M.R., Madella, M., Buso, A.A., Osterrieth, M.L., Lorente, F.L., Pessenda, L.C.R., 2015. Inferências sobre Vegetação e Clima no Holoceno a partir de Fitólitos e Pólen da Lagoa do Macuco, Litoral Norte do Estado do Espírito Santo (Brasil). *Quaternary and Environmental Geosciences* 06(1), 41-50.
- Calegari, M.R., Madella, M., Brustolin, L.T., Pessenda, L.C.R., Buso, A.A., Francisquini, M.I., Bendassolli, J.A., Vidal-Torrado, P., 2017. Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: A pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary International* 437, 156-164.
- Chuang, K.F., 2012. Inferência da cobertura vegetal e das condições climáticas no Espinhaço Meridional, MG, durante o Quaternário através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia): UERJ – FFP, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores, Rio de Janeiro.
- Coe, H.H.G., 2009. Fitólitos como Indicadores de Mudanças na Vegetação Xeromórfica da Região de Búzios, Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário. Tese de Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha, UFF, 300p.
- Coe, H.H.G., Alexandre, A., Carvalho, C.N., Santos, G.M., Silva, A.S., Sousa, L.O.F., Lepsch, I.F., 2012. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): evidence from soil phytolith assemblages. *Quaternary International* 2, 1-10.
- Coe, H.H.G., Macario, K., Gomes, J.G., Chueng, K.F., Oliveira, F., Gomes, P.R.S., Carvalho, C., Linares, R., Alves, E., Santos, G., 2014. Understanding Holocene variations in the vegetation of São João River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 415, 59-68.
- Coe, H.H.G., Ramos, Y.B.M., Santos, C.P., Silva, A.L.C., Silvestre, C.P., Borrelli, N.L.; Sousa, L.O.F., 2015. Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil. *Quaternary International* 388-389, 1-12.
- Coelho, L.G., Barth, O.M., Chaves, H.A.F., 1999. O registro palinológico das mudanças da vegetação na região da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, nos últimos 1000 anos. *Leandra* 14, 51–63.
- Coelho, L.G., Barth, O.M., Chaves, H.A.F., 2002. Palynological records of environmental changes in Guaratiba mangrove area, Southeast Brazil, in the last 6000 years BP. *Pesqui Geocienc* 29, 71–79.
- Collura, L.V., Neumann, K., 2016. Wood and bark phytoliths of West African woody plants. *Quaternary International*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.070>.
- Davies, B.E., 1974. Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38, 347-353.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI.
- Epstein, E., 2001. Silicon in plants: Facts vs. Concepts, in: Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndörfer G.H. (Ed.), *Silicon in Agriculture*. Elsevier, Amsterdam, 1-15.
- Gama, S.V.G., 2009. Ilha Grande. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 21-64.
- Hogg, A.G., Hua, Q., Blackwell, P.G., Niu, M., Buck, C.E., Guilderson, T.P., Heaton, T.J., Palmer, J.G., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Turney, C.S.M., Zimmerman, S.R.H., 2013.

- SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0-50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55(4).
- Ireland, S., 1987. The Holocene sedimentary history of coastal lagoons of Rio de Janeiro state, Brazil, in: Tooley M., Shennan I. (Ed.), *Sea-level changes*. Oxford: Basil Blackwell Ltd., p.25-66.
- Laslandes, B., 2007. Reconstitution de la variabilité climatique du littoral fluminense (Rio de Janeiro, Brésil) au cours de l'Holocène par l'étude de bio-indicateurs (diatomées, coccolithophoridés). Thèse de Doctorat - Université d'Angers, Angers, France.
- Luz, C.F.P., 1997. Palinologia dos sedimentos holocênicos da Lagoa de Cima, Município de Campos, norte do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 120p.
- Luz, C.F.P., Barth, O.M., Martin, L., Silva, C.G., Turcq, B., 2011. Palynological evidence of the replacement of the hygrophilous forest by field vegetation during the last 7,000 years B.P. in the northern coast of Rio de Janeiro, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 83(3), 939-951
- Macario, K.D., Gomes, P.R.S., Anjos, R.M., Carvalho, C., Linares, R., Alves, E.Q., Oliveira, F.M., Castro, M.D., Chanca, I.S., Silveira, M.F.M., Pessenda, L.C.R. Moraes, L.M.B., Campos, T.B., Cherinsky, A., 2013. The Brazilian AMS Radiocarbon laboratory (LAC-UFF) and the intercomparison of results with CENA and UGAMS. *Radiocarbon* 55, 325-330.
- Macario, K.D., Oliveira, F.M., Carvalho, C., Santos, G.M., Xu, X., Chanca, I.S., Alves, E.Q., Jou, R.M., Oliveira, M.I., Pereira, B.B. Moreira V., 2015. Advances in the graphitization protocol at the Radiocarbon Laboratory of the Universidade Federal Fluminense (LAC-UFF) in Brazil. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 361, 402-405.
- Maciel, N.C., Araujo, D.S.D., Magnanini, A., 1984. Reserva Biológica Estadual da Praia do Sul (Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ): Contribuição para conhecimento da fauna e flora. *Bol. FBCN* 19, 126-148.
- Madella, M., Alexandre, A., Ball, T., 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany* 96, 253-260.
- Martin, L., Suguio, K., 1992. Variations of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beach-ridge plains associated with river mouths: example of central Brazilian coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 99, 119-140.
- Mercader, J., Bennett, T., Esselmont, C., Simpson, S., Walde, D., 2009. Phytoliths in woody plants from the Miombo woodlands of Mozambique. *Annals of Botany* 104, 91-113.
- Mesquita, C.A.B., 2004. RPPN da Mata Atlântica: um olhar sobre as reservas particulares dos Corredores de Biodiversidade Central e da Serra do Mar. Aliança para Conservação da Mata Atlântica. São Paulo.
- Misumi, S.Y., Barros, M.A., Vilela, C., Barth, O.M., 2011. Paleoflorística e Aspectos Paleoclimáticos de Sedimentos do Pleistoceno Tardio na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ.
- Ortega, L.T., 1996. Variations paléohydrologiques et paléoclimatiques d'une région d'upwelling au cours de l'Holocène: enregistrement dans les lagunes cotières de Cabo Frio (État de RJ, Brésil). Thèse de Doctorat, Paris 6.
- Pessenda, L.C.R., 2005. Isótopos do Carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais, in: Souza, C.R.G. et al (Ed.), *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, p.75-93.
- Oliveira, R.R., 2002. Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. *Rodriguésia* 53(82), 33-58.
- Oliveira, R.R., 2004. Importância das bromélias epífitas na ciclagem de nutrientes da Floresta Atlântica. *Acta bot. bras.* 18(4), 793-799.
- Piperno, D.R., 1988. *Phytoliths Analysis: an archaeological and geological perspective*. San Diego: Academic Press.
- Piperno, D.R., 2006. *Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*. New York: Altamira press.
- Ramos, Y.B.M., 2014. Coleções de Referência de Assembleias Fitólíticas Modernas na Restinga da Planície Costeira de Maricá, RJ, para fins de Reconstituições Paleoambientais. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia): UERJ – FFP, UERJ - FFP, Rio de Janeiro, 160p.
- Salgado, C.M., Vazques N.D., 2009. Clima, in: Bastos, M., Callado, C.H. (organizadores), *O Ambiente da Ilha Grande*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, p.7-20.
- Scheel-Ybert, R., 2000. Vegetation stability in the Southeastern Brazilian coastal area from 5500 to 1400 14C yr BP deduced from charcoal analysis. *Review of Palaeobotany and Palynology* 110, 111-138.

- Schwartz, D., 1991. Intérêt de la mesure du ^{13}C des sols en milieu naturel équatorial pour la reconnaissance des aspects pédologiques et écologiques des relations savane-forêt. *Cah. Orstom ser. Pedal.* 26, 327-341.
- Schwartz, D., Mariotti A., Trouve C., Van Den Borg K., Guillet B., 1992. Étude des profils isotopiques ^{13}C et ^{14}C d'un sol ferrallitique sableux du littoral congolais. Implication sur la dynamique de la matière organique et l'histoire de la végétation. *C. R. Acad. sci.* 315, 1411-1417.
- Silva, R.C.O., 2015. Contribuições para a Reconstrução Paleoambiental Holocênica da Planície Costeira das Praias de Sul e de Leste – Ilha Grande/RJ. Dissertação de Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense.
- Suguio, K., Martin, L., 1978. Formações Quaternárias Marinhas do Litoral Paulista e Sul Fluminense, in: *Intern. Symp. On Coastal in the Quaternary*, p. 1-55.
- Sylvestre, F., 2005. Hydrological changes related to the variability of the tropical South American climate from the Cabo Frio lagoonal system (Brazil) during the last 5000 years. *The Holocene* 15, 625-630.
- Turcq, B., 1999. Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil, in: *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil. Série Geoquímica Ambiental*. Niterói: CEUFF 6, 25-46.
- Vidotto, E., 2008. Reconstrução Paleoambiental (vegetação e clima) no Parque Estadual da Ilha do Cardoso – SP durante o Quaternário Tardio. (Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP).
- Ybert, J. P., Bissa, W.M., Catharino, E.L.M., Kutner, M., 2003. Environmental and sea level variations on the Southeastern Brazilian coast during the Late Holocene, with comments on prehistoric human occupation. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology* 189, 11-24.