

# Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais

## *Characterization of plant and modern soil phytolith assemblages of caatinga as reference for palaeoenvironmental reconstructions*

**Heloisa Helena Gomes Coe<sup>ad</sup>, Sarah Fricks Ricardo<sup>ae</sup>, Leandro de Oliveira Furtado de Sousa<sup>bf</sup>, Raffaella Rodrigues Dias<sup>cg</sup>**

<sup>a</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, <sup>b</sup>Universidade Federal Rural do Semi-árido, <sup>c</sup>Universidade Federal Fluminense

<sup>d</sup>heloisacoe@yahoo.com, <sup>e</sup>sarah.fricks@gmail.com, <sup>f</sup>lofsousa@gmail.com, <sup>g</sup>raphardias@yahoo.com.br

### RESUMO

A Caatinga, quarto domínio fitogeográfico brasileiro em número de espécies de angiospermas, é composta por um mosaico de florestas secas e vegetação arbustiva, com enclaves de florestas úmidas montanas e cerrados. Entretanto, é o segundo bioma brasileiro com menos áreas protegidas e com poucos estudos paleoambientais. Buscando contribuir para a discussão sobre a evolução deste bioma durante o Quaternário, foram escolhidos como indicadores os fitólitos. Por ser um trabalho pioneiro com esse tipo de proxy na região, foi necessário investigar primeiro se as plantas da Caatinga produzem bastante fitólitos e se os mesmos se preservam nos solos. Foram coletadas na Depressão Sertaneja Setentrional amostras de 33 plantas de 16 famílias e 5 amostras superficiais de solo (Assembleias Modernas) sob diferentes formações vegetais (AM1 Caatinga Arbustiva Aberta, AM 2 Floresta de Caatinga Média, AM3 Floresta de Caatinga Alta, AM4 Floresta Ciliar e AM5 Caatinga Arbustiva Densa), para servir de referência para futuros trabalhos com assembleias fósseis. Constatamos que as plantas da Caatinga produzem uma grande quantidade e variedade de fitólitos, predominando os traqueídeos, poliédricos, *globular granulate* e tricomas. Foi encontrado um bom grau de preservação dos fitólitos, variando nos tipos e na quantidade de acordo com a vegetação sobrejacente e a granulometria do solo. A assembleia com maior quantidade de fitólitos classificáveis foi AM3 e a com menor porcentagem foi a AM1. Os maiores estoques de fitólitos foram encontrados nas AM 3, 2 e 5, e os menores nas 1 e 4. Os morfotipos fitolíticos predominantes foram o *globular granulate*, *globular echinate* e *elongate*, o que é esperado nesse tipo de vegetação. Os índices fitolíticos D/P (0,6 a 15), Bi (50 a 78%), Iph (53 a 87%) e Pa/P (0,1 a 8,9) são compatíveis com os tipos de formação vegetal analisados. Os fitólitos se mostraram ferramentas promissoras para o melhor conhecimento da vegetação da região, bem como para estudos paleoambientais no bioma.

**Palavras-chave:** fitólitos; semiárido; Depressão Sertaneja Setentrional.

### ABSTRACT

The Caatinga is the fourth Brazilian phytogeographical domain in number of angiosperm species, composed of a mosaic of dry forests and shrub vegetation, with enclaves of humid montane forests and savanna. Despite this, it is the second Brazilian biome in terms of least protected areas in its domain and has few paleoenvironmental studies. In order to contribute to the discussion on the evolution of this biome during the Quaternary, phytoliths were chosen as indicators. As this is a pioneering study for this type of proxy in the region, it was first necessary to investigate whether the plants of the Caatinga are producers of phytoliths and if they are preserved in the soils. Samples of 33 plants from 16 families and 5 superficial soil samples (Modern Assemblages) were collected in the Northern Sertaneja Depression (MA1 - Caatinga Open Shrubland, MA2 - Medium Caatinga Forest, MA3 - High Caatinga Forest, MA4 - Riparian Forest and MA5 - Dense Caatinga Shrubland) to be used as reference for future work with fossil assemblies. We found that the Caatinga plants are good producers of phytoliths, predominantly tracheids, polyhedral, globular granulate and trichomes. The analyses of the 5 modern assemblages indicated a good degree of phytolith preservation, varying in type and quantity according to the overlying vegetation and granulometry of the soil. The group with the highest number of classifiable phytoliths was MA3, while MA1 presented the lowest percentage. The largest stocks of phytoliths were found in MA 3, 2 and 5, and the lowest in MA 1 and 4. The predominant phytolith morphotypes were globular granular echinate and elongate, which is expected in this type of vegetation. The phytolith indexes D/P (0.6 to 15), Bi (50 to 78%), Iph (53 to 87%) and Pa/P (0.1 to 8.9) are compatible with the type of vegetation analyzed. Phytoliths have been shown to be promising tools for better knowledge of the region's vegetation, as well as for paleoenvironmental studies in the biome.

**Keywords:** Silica biomineralizations; semi-arid; Northern Sertaneja Depression

## 1. Introdução

Embora a diversidade de plantas e animais em ambientes áridos e semiáridos seja menor que nas exuberantes florestas tropicais úmidas, esses ambientes apresentam plantas e animais adaptados às suas condições extremas, com alta taxa de endemismos. A Caatinga, único ecossistema exclusivamente brasileiro, é composta por um mosaico de florestas secas e vegetação arbustiva (savana-estépica), com enclaves de florestas úmidas montanas e de cerrados (Tabarelli & Silva 2003). Até o momento foram registradas cerca de 5000 espécies de plantas, sendo cerca de 300 endêmicas (Giulietti *et al.* 2002), 185 espécies de peixes, 154 répteis e anfíbios, 348 espécies de aves e 148 espécies de mamíferos, considerando as formações vegetais típicas da Caatinga (MMA 2002).

O nome *caatinga* é de origem Tupi-Guarani e significa floresta branca. Esse nome caracteriza bem o aspecto da vegetação na estação seca, quando as folhas caem e apenas os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos permanecem na paisagem seca (Albuquerque & Bandeira 1995). Devido ao aspecto seco das fisionomias dominadas por cactos e arbustos, a vegetação da Caatinga sugere a um olhar menos atento uma baixa diversificação da fauna e flora. Dentre os biomas brasileiros, é, provavelmente, o mais desvalorizado e mal conhecido cientificamente. Esta situação é decorrente de uma crença injustificada, e que não deve ser mais aceita, de que a Caatinga é o resultado da modificação de outra formação vegetal, estando associada a uma diversidade muito baixa de plantas, sem espécies endêmicas e altamente modificada pelas ações antrópicas (Giulietti *et al.* 2002). Apesar de estar realmente bastante alterada, especialmente nas terras mais baixas, a Caatinga é um bioma de grande biodiversidade, com relevância biológica e beleza peculiar, com destaque para a multiplicidade de comunidades vegetais, formadas por uma gama de combinações entre tipos edáficos e variações microclimáticas, além de uma proporção expressiva de táxons raros e endêmicos, muitos deles comumente utilizados pela população por suas propriedades terapêuticas.

Nesse contexto, é de fundamental importância o conhecimento tanto da biodiversidade atual da Caatinga quanto de sua evolução ao longo do Quaternário. Para tal, foram escolhidos como indicadores os fitólitos, partículas de opala ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) microscópicas que se formam por precipitação de sílica amorfa entre e nas células de diversas plantas vivas (Piperno 1988). Os organismos, no caso as plantas, constroem uma estrutura ou molde onde se introduzem os íons e ali são induzidos a se precipitar e cristalizar (Epstein 2001). Com o passar do tempo, as partículas de sílica são depositadas no solo, sendo bons indicadores, pois conseguem se preservar muito bem na natureza ao longo do tempo. Os fitólitos preservam os registros da vegetação natural, tornando possível a análise de mudanças de densidade arbórea de uma

região, a identificação de tipos de vegetação, enfim, a compreensão da evolução de uma vegetação em relação com as condições bioclimáticas. Os índices fitolíticos permitem inferir parâmetros de vegetação, como o índice de densidade da cobertura arbórea (D/P), o índice de densidade da cobertura por palmeiras (Pa/P), o índice de estresse hídrico (Bi) e o índice climático (Ic), que indica a adaptação da formação vegetal a uma temperatura mínima e/ou pressão parcial de Dióxido de Carbono ( $\text{pCO}_2$ ) forte (zonas de altitude) (Coe *et al.* 2012). Esses índices já foram largamente utilizados em trabalhos com fitólitos extraídos de solo na África (Twiss 1992, Alexandre *et al.* 1997, Bremond 2003, Bremond *et al.* 2005a, 2005b e 2008, Barboni *et al.* 1999 e 2007, entre outros) e no Brasil (Alexandre *et al.* 1999, Coe 2009, Coe *et al.* 2012a, 2012b, 2013, 2014b e 2015, Gomes *et al.* 2014, Augustin *et al.* 2014, Calegari *et al.* 2015, Lorente *et al.* 2015, Barros *et al.* 2016, Parolin *et al.* 2017).

Qualquer estudo paleoambiental necessita utilizar referências modernas para posterior comparação com assembleias fósseis. Por ser um trabalho pioneiro com esse tipo de *proxy* na região, foi necessário investigar inicialmente se as plantas da Caatinga são boas produtoras de fitólitos e se os mesmos se preservam nos solos. Assim, o objetivo desse estudo é analisar a presença de fitólitos em amostras de plantas e solos modernos (assembleias fitolíticas modernas – AM) provenientes de diferentes fitofisionomias do bioma Caatinga localizadas nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, visando à melhor compreensão acerca dessa vegetação e dos processos de biomineralização da sílica nela envolvidos, a fim de estabelecer coleções de referência modernas que permitirão realizar posteriores estudos de reconstituição ambiental que utilizem esse indicador, contribuindo, desta forma, para um melhor conhecimento deste bioma.

## 2. Área de estudo

A Caatinga é a única grande região natural brasileira cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional, ocupando basicamente a Região Nordeste, com algumas áreas no Estado de Minas Gerais. Estende-se de 2°54' a 17°21' S, compreendendo uma área aproximada de 800.000 km<sup>2</sup>, representando 70% da região nordeste e 11% do território nacional. A região inclui os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, sudeste do Piauí, oeste de Alagoas e Sergipe, região norte e central da Bahia e uma faixa estendendo-se em Minas Gerais seguindo o rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha. A ilha de Fernando de Noronha também deve ser incluída (Andrade-Lima 1981) (figura 1).

No nordeste do Brasil a maior parte da Caatinga está localizada nas depressões interplanálticas (Ab'Sáber 1974), porém há algumas exceções, como a chapada baixa do raso da Catarina (Bahia), a faixa da Borborema na Paraíba ou o platô Apodi no Rio Grande do Norte, onde a vegetação de Caatinga é encontrada

não apenas nas depressões, mas também nos planaltos (Andrade-Lima 1981). Como resultado da origem do substrato da Caatinga, os solos são pedregosos e rasos, com a rocha-mãe escassamente decomposta a profundidades exíguas e muitos afloramentos de rochas

maciças (Tricart 1961, Ab'Sáber 1974). A origem geomorfológica e geológica da Caatinga tem resultado em vários mosaicos de solos complexos com características variadas mesmo dentro de pequenas distâncias (Sampaio 1995).

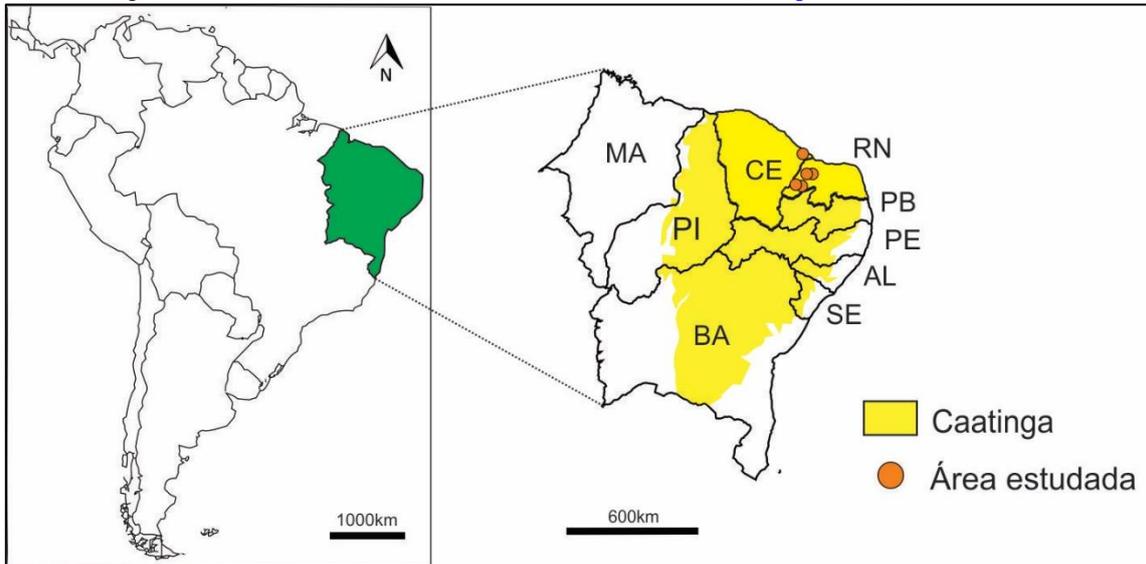


Figura 1: Área ocupada pela Caatinga no Brasil, com destaque para a área amostrada na Depressão Sertaneja Setentrional. Fonte: modificado de Thinkstock (2017).

A vegetação varia com a topografia, com vegetação de cerrado no topo dos tabuleiros, tais como a chapada do Araripe e os tabuleiros costeiros, florestas úmidas perenifólias ou semidecíduas nos topos das serras (tais como os brejos de Pernambuco), e florestas secas ou formações de Caatinga Arbórea nas encostas e nos inselbergs (Prado 2003). Há algumas áreas sedimentares dentro da Caatinga, tais como as áreas costeiras e a bacia do rio Mossoró no Rio Grande do Norte (Andrade-Lima 1966) e o Raso da Catarina, bem como as regiões sob influência do rio São Francisco na Bahia.

Nem sempre o clima representa papel expressivo no estabelecimento das formações vegetais. Todavia, no caso da Caatinga, é patente a influência preponderante do clima. A vegetação da Caatinga se apresenta sempre associada à elevada deficiência hídrica, o que indica um complexo de formações vegetais determinado por fatores climáticos (Reis 1976).

O clima do NE, classificado como tropical semiárido, ou pela classificação de Köppen como tipo Bsh, caracteriza-se pelas temperaturas elevadas e chuvas escassas e irregulares. Reis (1976) descreve o quadro climático das áreas da Caatinga como uma das mais extensas áreas de semiaridez da América do Sul, assinalando alguns dos valores meteorológicos mais extremos do Brasil: a mais alta radiação solar, baixa nebulosidade, a mais alta temperatura média anual, as

mais baixas taxas de umidade relativa, evapotranspiração potencial mais elevada, e, sobretudo, precipitações mais baixas e irregulares, limitadas, na maior parte da área, a um período muito curto no ano (2 a 3 meses). Essas chuvas, quase sempre de grande intensidade, provocam enchentes nos cursos e reservatórios d'água, além de um elevado escoamento superficial, com pouca ou quase nenhuma infiltração, acentuando e agravando, em cada ano, a erosão dos solos. Fenômenos catastróficos são muito frequentes, tais como secas e cheias. Contudo, o que mais caracteriza a região é a ausência completa de chuvas em alguns anos (Nimer 1972).

Essa área se caracteriza por uma heterogeneidade climática que a situa como a de maior complexidade entre as regiões brasileiras, que decorre fundamentalmente de sua posição geográfica em relação aos diversos sistemas de circulação atmosférica e, em plano secundário, de importantes fatores como o relevo, a latitude e continentalidade.

O aspecto seco da vegetação durante a maior parte do ano se transforma quando as chuvas chegam de forma tão rápida e espetacular que a paisagem muda quase que da noite para o dia (Coe & Sousa 2014). A interação de fatores como tipo de solo, altitude e índice pluviométricos permite reconhecer diferentes unidades da paisagem, formando um mosaico vegetacional (figura 2).



Figura 2: Fisionomias da caatinga: a) caatinga arbustiva aberta, Lajes, RN; b) caatinga litorânea, Icapuí, CE; c) caatinga arbórea, Martins, RN; d) caatinga arbórea alta, Portalegre, RN; e) mata ripária com predominância de *Copernicia prunifera*, Gov. Dix-sept Rosado, RN; f) caatinga arbustiva densa, Açu, RN (Fonte: [Coe & Sousa 2014](#)).

De um modo geral, a Caatinga é caracterizada por um tipo de vegetação xeromorfa composta por florestas de porte baixo, com dossel geralmente descontínuo, folhagem decídua na estação seca e árvores e arbustos comumente armados com espinhos ou acúleos. Dentre as famílias botânicas mais comuns estão Fabaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Asteraceae, Cactaceae entre outras. Árvores e arbustos são as formas de vida predominantes e na maior parte do bioma a altura das copas não ultrapassa os 8 metros de altura. O estrato herbáceo é composto principalmente de plantas anuais e fica ausente durante mais ou menos sete meses do ano, surgindo com maior frequência na época chuvosa através da germinação das sementes nas espécies anuais ou por rebrotamento de estruturas subterrâneas de reserva em geófitas ([Coe & Sousa 2014](#)).

Este trabalho concentrou-se na ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional, que ocupa a maior parte do norte da Caatinga, estendendo-se desde a fronteira norte de Pernambuco, ocupando a maior parte dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará e uma pequena faixa ao norte do Piauí. Seu relevo consiste numa extensa planície baixa, com elevações residuais disseminadas na paisagem. Os solos são rasos, pedregosos, de origem cristalina e fertilidade média a alta, mas muito suscetíveis à erosão. A principal característica desta ecorregião é a

irregularidade pluviométrica, apresentando deficiência hídrica bastante acentuada na maior parte do ano. Não existem rios permanentes, mas há a presença importante de corpos d'água temporários (rios e lagoas). Os tipos de vegetação característicos são a Caatinga Arbustiva a Arbórea, com enclaves de brejos de altitude ([Velloso et al. 2002](#)).

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1 Materiais

As amostras foram coletadas nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, na área ocupada pelo bioma da Caatinga e pertencente à Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional.

Foram coletadas amostras de 33 espécies (de 16 Famílias) características da região (tabela 1) nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. O critério para a escolha foi a seleção de espécies comuns da Caatinga na área de coleta, de acordo com [Leal et al. \(2003\)](#). O material coletado fértil foi herborizado segundo técnicas usuais em taxonomia e as exsicatas incorporadas ao acervo do Herbário Universidade Federal Rural do Semiárido (MOSS).

Também foram coletadas cinco amostras superficiais de solo em diferentes fitofisionomias da Caatinga, cuja denominação foi baseada na classificação de [Andrade-](#)

**Lima (1981):** Caatinga Arbustiva Aberta; Floresta de Caatinga Média; Floresta de Caatinga Alta; Floresta Ciliar; Caatinga Arbustiva Densa. Destas amostras foram extraídas assembleias fitolíticas modernas (AM) que servirão como referência para posteriores estudos paleoambientais (tabela 2 e figura 3). Segundo o autor, a **Caatinga Arbustiva Aberta** ocupa pequenas áreas dispersas na caatinga, com espécies predominantemente de baixo porte, com algumas ervas nos espaços abertos. A **Floresta de Caatinga Média** possui um estrato arbóreo não muito denso, com altura entre 7 e 15m e presença de estrato herbáceo aberto com bromeliáceas e espécies espinhosas. As gramíneas são quase ausentes. Quanto à **Floresta de Caatinga Alta**, o autor considera que as espécies dominantes nessa unidade não diferem das outras, apesar da fitofisionomia ser diferente. A fitofisionomia de

**Floresta Ciliar** é composta pela vegetação presente ao longo das margens dos principais rios dentro dos Estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, trata-se de uma mata de palmeiras, onde as espécies predominantes são *Copernicia prunifera*, *Licania rigida* e *Geoffroea spinosa*. A **Caatinga Arbustiva Densa** é considerada o tipo de vegetação que ocupa a maior área atualmente, porém não se sabe até que ponto é natural ou induzida pelo homem.

As amostras de solo foram coletadas imediatamente abaixo da serapilheira, com o auxílio de uma pá de jardinagem. Em cada ponto foram coletadas 5 amostras de 20 gramas cada, distantes cerca de 3 metros umas das outras. No laboratório foi feita uma mistura com quantidades homogêneas das cinco amostras de cada ponto que compuseram cada assembleia moderna analisada.

Tabela 1: Plantas coletadas para o estudo dos fitólitos

Nome científico	Nome popular	Família	Herbário/Nº registro
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Cajueiro	Anacardiaceae	MOSS 14334
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	Apocynaceae	MOSS 10190
<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E.Moore	Carnaúba	Arecaceae	UFRN 7726
<i>Syagrus cearensis</i> Noblick	Coco-babão	Arecaceae	MOSS 10522
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê-rosa	Bignoniaceae	MOSS 13495
<i>Cordia oncocalyx</i> Allemão	Pau-branco	Boraginaceae	MOSS 13885
<i>Euploca polyphylla</i> (Lehm.) J.I.M.Melo & Semir	Sete-sangrias	Boraginaceae	MOSS 14871
<i>Encholirium spectabile</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	Bromélia	Bromeliaceae	MOSS 2652
<i>Licania rigida</i> Benth.	Oiticica	Chrysobalanaceae	MOSS 11543
<i>Erythroxylum</i> sp.		Erythroxylaceae	sn
<i>Cnidocolus quercifolius</i> Pohl	Faveleira	Euphorbiaceae	MOSS 12496
<i>Croton</i> sp.	Marmeleiro	Euphorbiaceae	sn
<i>Croton</i> sp2.	Cróton	Euphorbiaceae	MOSS 14873
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão-bravo	Euphorbiaceae	MOSS 9015
<i>Manihot carthaginensis</i> (Jacq.) Müll.Arg.	Mandioca-brava	Euphorbiaceae	UFRN 4937
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico	Fabaceae	MOSS 12326
<i>Bauhinia pentandra</i> (Bong.) D.Dietr.	Mororó	Fabaceae	MOSS 9254
<i>Chamaecrista</i> sp.	Palma-do-campo	Fabaceae	sn
<i>Inga thibaudiana</i> DC.	Ingá	Fabaceae	sn
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Jucá	Fabaceae	MOSS 14062
<i>Macroptilium atropurpureum</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Urb.	Siratiro	Fabaceae	MOSS 14443
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema-preta	Fabaceae	MOSS 13583
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	Catanduva	Fabaceae	MOSS 14870
<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P.Queiroz	Catingueira	Fabaceae	MOSS 9956
<i>Trischidium molle</i> (Benth.) H.E.Ireland	Café-de-rosa	Fabaceae	MOSS 14481
<i>Byrsonima gardneriana</i> A.Juss.	Murici	Malpighiaceae	MOSS 14877
<i>Pavonia cancellata</i> (L.) Cav.	Corde-de-viola	Malvaceae	MOSS 14340
<i>Waltheria brachypetala</i> Turcz		Malvaceae	MOSS 14875
<i>Waltheria bracteosa</i> A.St.-Hil. & Naudin	Malva	Malvaceae	MOSS 14872
Myrtaceae		Myrtaceae	MOSS 14876
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Juazeiro	Rhamnaceae	MOSS 14879
<i>Guettarda angelica</i> Mart. ex Müll.Arg.	Angelica	Rubiaceae	MOSS 12337
<i>Bouchea</i> sp.		Verbenaceae	sn

Tabela 2: Descrição e localização das Assembleias Modernas (AM) de Solo.

Amostra	Tipo de vegetação	Localidade	Coordenadas	Altitude
AM1	Caatinga Arbustiva aberta	Ponta Grossa, Icapuí, CE	4° 38' 13.08"S 37° 30' 30.95"W	52m
AM2	Floresta de Caatinga Média	Casa de Pedra, Martins, RN	6° 04' 17.52"S 37° 53' 04.31"W	293m
AM3	Floresta de Caatinga Alta	Cach. do Pinga, Portalegre, RN	6° 01' 00.19"S 37° 59' 30.84"W	490m
AM4	Floresta Ciliar	Poço Feio, Margem do Rio Apodi, Gov. Dix Sept Rosado, RN	5° 29' 19.39"S 37° 33' 31.46"W	29m
AM5	Caatinga Arbustiva Densa	Governador Dix Sept Rosado, RN	5° 29' 16.19"S 37° 32' 07.20"W	64m

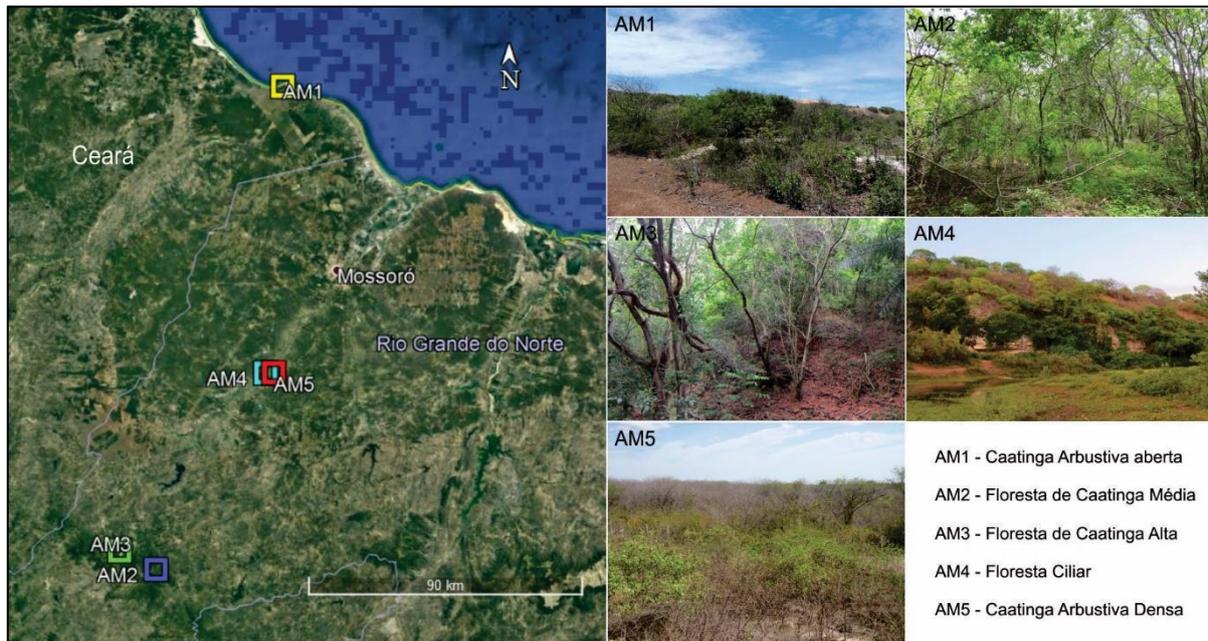


Figura 3: Localização das Assembleias Modernas de Solo. Fonte: modificado de Google Earth.

### 3.2. Métodos

**Extração dos fitólitos de plantas:** os fitólitos foram extraídos de 3 g de material seco e picado, através da eliminação da matéria orgânica com uma solução de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), aquecendo-se o material a  $250^\circ\text{C}$  durante 3 horas. Posteriormente, acrescenta-se de 10 a 20 ml de Peróxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

**Extração dos fitólitos de solo:** os fitólitos foram extraídos de 10 g de solo seco, ligeiramente moído, peneirado a 2 mm e processado através das seguintes etapas: (1) dissolução de carbonatos usando HCl (1N); (2) oxidação de matéria orgânica utilizando  $\text{HNO}_3$  (65%) e  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%) a  $90^\circ\text{C}$ ; (3) remoção da fração de argila ( $<2\mu\text{m}$ ) por decantação; (4) separação densimétrica dos fitólitos num líquido denso de Politungstato de Sódio (densidade de  $2,3\text{ g/cm}^3$ ).

**Contagem:** os fitólitos foram montados em lâminas provisórias com óleo de cravo puro para observação em 3D e em Entellan® (lâminas permanentes) para contagem com magnificação de 500x e 630x. Foram contados um mínimo de 200 fitólitos com significância taxonômica (*classified*).

**Tipos de fitólitos:** os fitólitos foram identificados segundo as classificações de Twiss (1992, 1969), Mulholland (1989), Fredlund & Tieszen (1994), Kondo *et al.* (1994), Alexandre *et al.* (1997), Strömberg (2004), Mercader *et al.* (2009) e nomeados de acordo com o Código Internacional de Nomenclatura de Fitólitos (ICPN 1.0, Madella *et al.* 2005). Os fitólitos sem significância taxonômica devido a sua dissolução ou fragmentação, foram reunidos na categoria *unclassified*. Os tipos são apresentados como porcentagens da soma dos fitólitos *classified*.

**Índices fitolíticos:** quatro índices fitolíticos foram calculados da seguinte forma: (1) índice **D/P**, que é a

razão entre os tipos característicos das dicotiledôneas lenhosas (*Globular granulate* + *Tree/shrub* + *Tracheid*) e a soma de tipos de fitólitos de Poaceae (*Bulliform cuneiform* + *Bulliform parallelepipedal* + *Short cells* + *Acicular*); (2) índice de estresse hídrico **Bi**, que é a razão entre o tipo *bulliform* e a soma de tipos de fitólitos de Poaceae (*Bulliform cuneiform* + *Bulliform parallelepipedal* + *Short cells* + *Acicular*), expresso em porcentagem (3) índice de aridez **Iph**, que é a razão entre os fitólitos de gramíneas baixas de ciclo fotossintético em C4 (*Saddle*), e a soma de fitólitos de células curtas de Poaceae (*saddle* + *cross* + *bilobate short cell*), expresso em porcentagem; (4) índice de cobertura por palmeiras **Pa/P** que é a razão entre o tipo característico das *Arecaceae* (*Globular echinate*) e a soma de tipos de fitólitos de Poaceae (*Bulliform cuneiform* + *Bulliform parallelepipedal* + *Short cells* + *Acicular*).

## 4. Resultados

### 4.1 Fitólitos de plantas

De uma maneira geral as plantas da Caatinga produzem grande quantidade de fitólitos, já que, dentre as 33 plantas analisadas, em apenas uma (*Poincianella bracteosa*) não foi observado nenhum tipo de silicificação.

Algumas famílias, como *Arecaceae*, *Bromeliaceae*, *Chrysobalanaceae*, *Malvaceae*, *Anacardiaceae* e *Erythroxylaceae*, são grandes produtoras. Em uma mesma família essa produção pode variar de acordo com as espécies, como a *Boraginaceae*, onde a *Cordia oncocalyx* apresentou uma produção muito baixa (10-50 fitólitos em 3 transectos horizontais), enquanto *Euploca polyphylla* demonstrou apresentar grande silicificação de tricomas e bases de tricoma. Em *Euphorbiaceae* e *Fabaceae* também houve uma grande variação entre as espécies observadas, sendo de rara

(<10 fitólitos em 3 transectos horizontais) a muito alta (>300 fitólitos em 3 transectos horizontais) em ambas as famílias. Os tipos de silicificação predominantes foram traqueídeos, poliédricos e *globular granulate*, seguidos de *elongate*, tricomas e estômatos (figura 4).

**4.2 Fitólitos das Assembleias Modernas de Solo**

Foram observados fitólitos em todas as Assembleias Modernas. O estoque de fitólitos presente em uma amostra de solo depende da produção pelas plantas e também da granulometria das amostras, que podem ser favoráveis à acumulação dos fitólitos (partículas mais finas, como silte e argila), ou podem, quando grosseiras (arenosas) permitir sua percolação para camadas mais profundas.

A composição granulométrica das Assembleias Modernas apresentou uma grande variação. De maneira

geral, as amostras se mostraram predominantemente arenosas, sendo as mais arenosas as AM1 (Caatinga Arbustiva aberta), com 87% de areia, e AM4 (Floresta Ciliar), com 90% de areia, enquanto a AM5 (Caatinga Arbustiva Densa) foi a com maior teor de silte (40%) e menor teor de areia (38%) (tabela 3).

**Classificação dos Fitólitos:**

Todas as Assembleias Modernas apresentaram uma maior quantidade de fitólitos classificáveis (*classified*) do que não classificáveis (*unclassified*), o que é esperado em amostras superficiais de solo (figura 5 e tabela 4). A amostra que apresentou o maior número de fitólitos *classified* foi a AM3 (Floresta de Caatinga Alta) e o menor percentual foi observado na AM1 (Caatinga Arbustiva aberta).

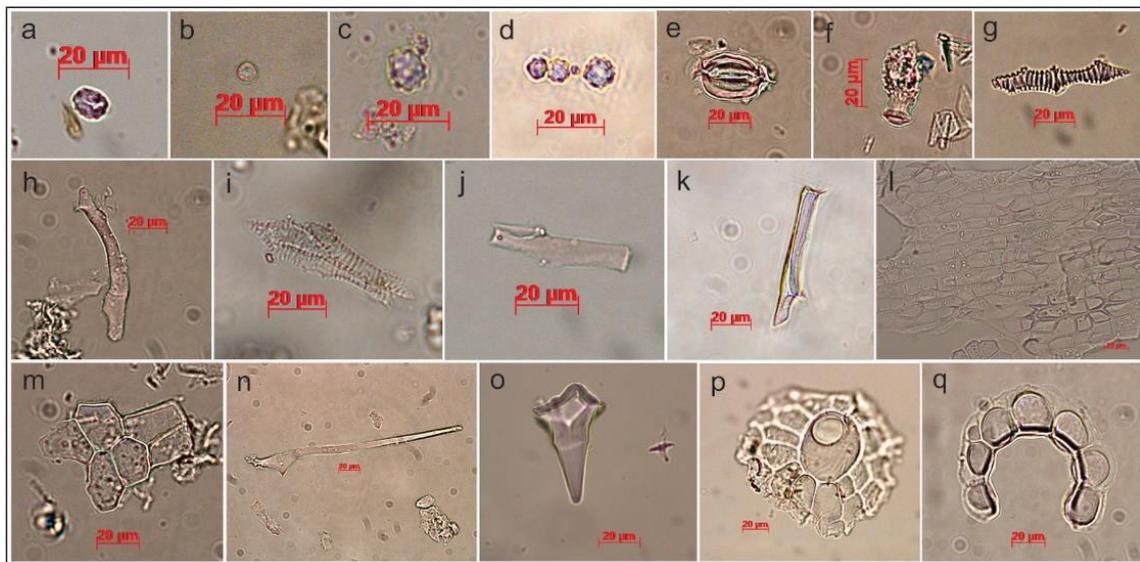


Figura 4: Microfotografias dos principais tipos de silicificação observados nas plantas: a) *Globular granulate* em *Guettarda angelica* (Rubiaceae); b) *Globular psilate* em *Mimosa tenuiflora* (Fabaceae); c) *Globular echinate* em *Syagrus cearensis* (Arecaceae); d) *Globular echinate* em *Encholirium spectabile* (Bromeliaceae); e) Estômato em *Pityrocarpa moniliformis* (Fabaceae); f) Cistólito em *Cordia oncocalyx* (Boraginaceae); g) Traqueídeos em *Chamaecrista* sp. (Fabaceae); h) Traqueídeo em *Erythroxylum* sp. (Erythroxylaceae); i) Traqueídeos em *Bauhinia pentandra* (Fabaceae); j) Elongate em *Guettarda angelica* (Rubiaceae); k) *Elongate faceted* em *Croton* sp. (Euphorbiaceae); l) Poliédricos articulados em *Licania rigida* (Chrysobalanaceae); m) Poliédricos articulados em *Pityrocarpa moniliformis* (Fabaceae); n) Tricoma em *Pavonia cancellata* (Malvaceae); o) Tricoma em *Licania rigida* (Chrysobalanaceae); p) Base de tricoma em *Waltheria bracteosa* (Malvaceae); q) Base de tricoma em *Macroptilium atropurpureum* (Fabaceae).

Tabela 3: Composição granulométrica das amostras de solo

Amostra	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
AM1	72,75	14,35	7,9	5
AM2	28,4	40,95	16,65	14
AM3	45,2	19,35	20,45	15
AM4	15,05	75,3	7,65	2
AM5	15	33,15	39,85	12

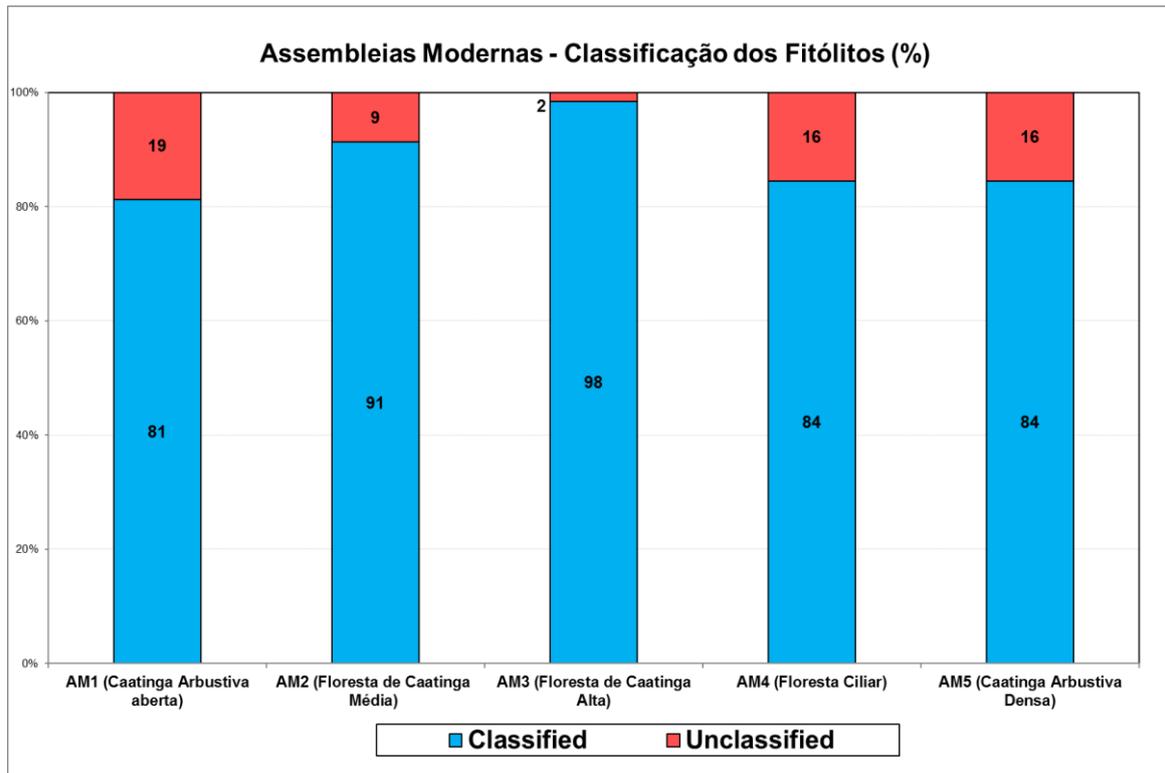


Figura 5: Porcentagem de fitólitos classificáveis e não classificáveis na Assembleia Modernas

Tabela 4: Resultados das análises fitolíticas das Assembleias Modernas de Solos

Amostra	Tipos de fitólitos (% dos classified)													Classificação		Índices			
	Globular granulate	Globular psilate	Poliédrico	Traqueídeo	Globular echinate	Bulliform paralelepipedal	Bulliform cuneiform	Elongate	Acicular	Bilobate	Saddle	Trapeziform	Papillae	Classified	Unclassified	D/P	Bi%	Pa/P	Iph%
AM1	58,2	11,4	0,0	0,4	1,5	9,5	1,8	9,5	1,5	1,1	4,0	0,0	1,1	81,3	18,8	3,2	63,3	0,1	78,6
AM2	41,8	1,2	0,0	0,5	12,6	8,1	3,2	22,1	3,1	0,8	5,1	0,3	0,0	91,3	8,7	2,0	55,2	0,6	86,8
AM3	56,4	4,1	0,0	0,0	33,7	1,4	0,5	1,1	0,9	0,3	0,4	0,2	0,2	98,5	1,5	15,0	50,0	8,9	#
AM4	37,6	2,1	0,0	2,4	6,7	23,5	7,0	11,6	5,2	2,1	0,0	1,5	0,0	84,5	15,5	1,0	77,5	0,2	#
AM5	20,7	7,2	0,3	1,0	15,1	11,8	5,6	21,0	9,2	2,6	3,0	2,3	0,3	84,5	15,5	0,6	50,5	0,4	52,9

**Tipos de fitólitos:**

Na AM1 o morfotipo predominante foi o *Globular granulate*, seguido do *Globular psilate*, *Bulliform paralelepipedal* e *Elongate*. Também foram observados em menores proporções os tipos *Bulliform cuneiform*, *Acicular*, *Bilobate*, *Saddle*, *Papillae*, *Globular echinate* e Traqueídeo. Na AM2 os tipos de fitólitos predominantes foram o *Globular granulate*, seguido do *Elongate* e *Globular echinate*. Também foram observados os tipos *Bulliform paralelepipedal*, *Bulliform cuneiform*, *Acicular*, *Bilobate*, *Saddle*, *Trapeziform*, *Globular psilate*, Traqueídeo e fitólito de Marantaceae. Na AM3 os tipos de fitólitos predominantes foram o *Globular granulate*, seguido do *Globular echinate*. Também foram observados os tipos *Bulliform paralelepipedal*, *Bulliform cuneiform*,

*Elongate*, *Acicular*, *Bilobate*, *Saddle*, *Trapeziform*, *Papillae*, *Globular psilate* e Traqueídeo. Na AM4 os tipos de fitólitos predominantes foram o *Globular granulate* e *Bulliform paralelepipedal*. Também foram observados os tipos *Bulliform cuneiform*, *Elongate*, *Acicular*, *Bilobate*, *Trapeziform*, *Globular psilate*, *Globular echinate* e Traqueídeo (figuras 6, 7 e tabela 4). Na AM5 os tipos de fitólitos predominantes foram *Elongate*, *Globular granulate*, *Globular echinate* e *Bulliform paralelepipedal*. Também foram observados os tipos *Bulliform cuneiform*, *Acicular*, *Bilobate*, *Saddle*, *Trapeziform*, *Papillae*, *Globular psilate*, *Poliédrico* e Traqueídeo (figuras 6, 7 e tabela 4).

Sintetizando, o tipo de fitólito predominante em todas as amostras foi o *Globular granulate*, que pode se dever ao fato da vegetação da Caatinga ser constituída principalmente por Eudicotiledôneas

lenhosas. O segundo morfotipo mais frequente foi o *Globular echinate*, produzido principalmente pelas Arecaceae e Bromeliaceae, que também são abundantes na Caatinga mais fechada, como as AM3 (Floresta de Caatinga Alta) e AM5 (Caatinga Arbustiva Densa). Também foram observados no solo a presença de alguns fitólitos considerados nesse trabalho como característicos de algumas espécies/gênero analisadas, como o tricoma da Oiticica (*Licania rigida*), observado nas AM 4 e 5, e o *elongate faceted* das duas espécies de *Croton*, encontrados nas AM 2 e 5, sendo numa maior quantidade na AM 2.

*Índices fitolíticos*: foram calculados o índice de densidade arbórea (D/P), o índice de densidade de palmeiras (Pa/P), o índice de estresse hídrico (Bi%) e o índice de aridez (Iph%).

O índice **D/P** (Dicotiledôneas lenhosas/Poaceae) variou de 0,6 (AM5 - Caatinga Arbustiva Densa) a 15 (AM3 - Floresta de Caatinga Alta), correspondendo bem à densidade arbórea atual de cada uma das formações vegetais amostradas (tabela 4). De uma maneira geral a vegetação da caatinga apresenta predomínio de lenhosas sobre gramíneas, variando a densidade das árvores com a disponibilidade de água no ambiente, o que se pode notar pelo alto valor do índice registrado para a AM3, situada no ambiente mais úmido de todos os estudados, sendo o menor valor do índice encontrado na amostra situada na área de vegetação de menor porte e mais aberta, o que possibilita o maior desenvolvimento das gramíneas. Valores de D/P semelhantes aos da AM3 foram encontrados por [Coe et al. \(2015\)](#) para a floresta de restinga da região de Maricá, RJ. [Coe et al. \(2012\)](#) registraram valores semelhantes aos da AM2 na região de Cabo Frio, onde também se encontra uma vegetação hipoxerófila. Índices D/P entre 0,5 e 1 foram calculados em áreas cobertas por cerrado por [Chueng \(2012\)](#), na região do Espinhaço Meridional, por [Barros et al. \(2016\)](#) no Quadrilátero Ferrífero e [Alexandre et al. \(1999\)](#) em Salitre, MG.

O índice **Pa/P** teve uma variação de 0,1 (AM1 - Caatinga Arbustiva aberta) a 8,9 (AM3), sendo compatível com as formações vegetais de cada AM (tabela 4). Além de apresentar a maior densidade arbórea entre todas as formações estudadas, a AM3 também apresenta a maior presença de palmeiras.

O índice de estresse hídrico (**Bi%**) apresentou valores medianos para a maioria das formações, sendo os mais baixos na AM3 (Floresta de Caatinga Alta), o que pode ser explicado pelo fato da mesma se encontrar em uma área de altitude mais elevada, com maior umidade, e da AM5 (Caatinga arbustiva densa), área um pouco mais úmida e com mais lenhosas, o que já foi observado pelos índices D/P e Pa/P. A Assembleia Moderna que apresentou valores mais elevados de Bi foi a AM4 (Floresta Ciliar), localizada próxima a um rio temporário, onde provavelmente o estresse hídrico, expresso pela maior quantidade de células buliformes, é causado por variações do nível do lençol freático (tabela 4). Valores similares foram

encontrados por [Coe et al. \(2015\)](#) para comunidades vegetais típicas de restinga em Maricá, RJ e por [Augustin et al. \(2014\)](#) para formações de cerrado.

O índice de aridez (**Iph%**) não pôde ser determinado para as AM3 (Floresta de Caatinga Alta) e AM4 (Floresta Ciliar), pois as mesmas apresentaram menos de 5% de fitólitos de *short-cells*, utilizados para o cálculo deste índice, não atingindo uma quantidade estatisticamente significativa (tabela 4). Para as demais formações, o índice é elevado, o que é esperado em um ambiente de clima semiárido. [Barboni et al. \(1999\)](#), estudando as formações vegetais da África Oriental estabeleceram que valores do índice Iph acima de 40-45 podem distinguir a vegetação adaptada às condições áridas.

## 5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi analisar a produção de fitólitos por plantas da Caatinga e sua preservação no solo, a fim de estabelecer coleções de referência modernas que permitirão realizar posteriores estudos de reconstituição ambiental nesse bioma que utilizem esse indicador, além de contribuir para um maior conhecimento desta vegetação.

As plantas analisadas mostraram, em sua maioria, produzir uma grande quantidade de fitólitos, com predominância dos tipos traqueídeos, poliédricos e *globular granulate*. Pode-se observar também uma grande silicificação de tricomas, o que pode ser uma adaptação das plantas ao clima da região. Em alguns casos a produção de fitólitos das diferentes famílias de plantas analisadas corroborou estudos já existentes. Em outros casos a produção variou com os gêneros estudados e, ainda, foram analisadas plantas para as quais não havia nada publicado na literatura. Apesar das limitações do uso de fitólitos no solo para um maior detalhamento dos táxons da vegetação sobrejacente, constatamos nas Assembleias Modernas a presença de alguns morfotipos característicos de algumas espécies/gênero analisadas, como o tricoma da Oiticica (*Licania rigida*), que foi encontrado nas AM 4 e 5, e o *elongate faceted* das duas espécies de *Croton*, encontrados nas AM 2 e 5, sendo numa maior quantidade na AM 2. Além disso, foram encontrados tipos diagnósticos de alguns táxons, como *globular echinate*, *papillae*, *bilobate*, *cross*, *saddle*, *trapeziform*, *bulliform* e fitólitos de Marantaceae.

Em relação aos fitólitos das Assembleias Modernas, estes se apresentaram bem preservados em todas as amostras, havendo, contudo, uma variação entre elas, podendo ser devido a fatores como a granulometria do solo e as espécies vegetais presentes em cada assembleia.

Os fitólitos se mostraram promissores para estudos na Caatinga, sobretudo por esta ser uma área com carência de ambientes propícios para a utilização de outros *proxies* para reconstituições da vegetação. Entretanto, este foi um trabalho pioneiro e ainda há muito a ser estudado nesse bioma. É necessário expandir a análise de plantas e solo para outras áreas da

Caatinga, para um maior acervo de dados e conhecimento.

O bioma Caatinga, de tão importante biodiversidade e contexto social, ainda carece de muitos estudos, principalmente no que se refere a sua vegetação e processos de adaptação ao ambiente. Isso reafirma a importância do estudo tanto das biomineralizações nas plantas atuais, para uma maior compreensão de sua

vegetação, quanto da sua preservação no solo para tentarmos entender a dinâmica ocorrida no processo de sua formação e deposição. Além disso, estudos paleoambientais, que poderão trazer informações sobre a evolução desse bioma ao longo do Quaternário, necessitam dessas coleções de referência modernas para comparação com assembleias fitolíticas fósseis.

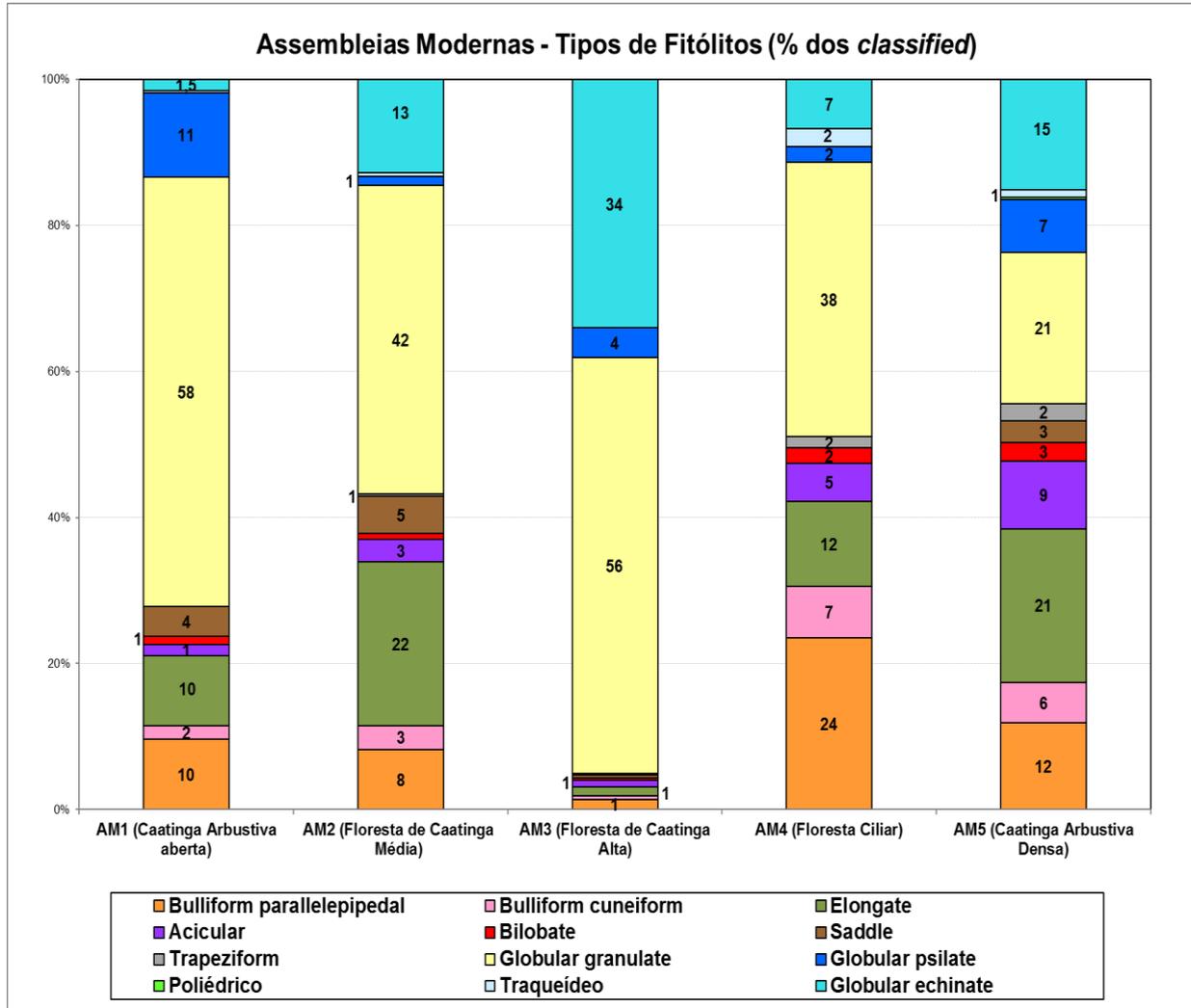


Figura 6: Principais tipos de fitólitos observados nas Assembleias Modernas



Figura 7: Microfotografias dos principais tipos de fitólitos observados nas Assembleias Modernas: **AM1:** *Bulliform paralelepipedal* (a), *Bulliform cuneiform* (b), *Globular granulate* (c); Globulares articulados (d); *Papillae* (e, f); **AM2:** *Bulliform cuneiforme* (g), *Elongate* (h), *Elongate faceted* (*Croton* sp.) (i), *Traqueídeo* (j); *Unknown C* (k), fitólito de *Marantaceae* (l), *Cross* (m); **AM3:** *Bulliform cuneiform* (n, o), *Elongate* (p), *Globular granulate* (q), Globulares articulados (r), *Globular echinate* (s), *Globular psilate* (t), *Papillae* (u), *Saddle* (v), *Rondel* (w); **AM4:** *Bulliform paralelepipedal* (x), *Bulliform cuneiform* (y), *Elongate* (z), *Traqueídeo* (a'), *Globular echinate* (b', c'), *Globular granulate* (d'), *Acicular* (tricoma de *Licania rigida*) (e'), *Acicular* (f'), *Cross* (g'); **AM5:** *Elongate* e *Elongate faceted* (h'), *Elongate faceted* (i'), *Poliédricos articulados* (j'), *Globular granulate* (k'), *Globular echinate* (l'), *Acicular* (tricoma de *Licania rigida*) (m'), *Saddle* (n'), *Bilobate* (o'), *Rondel* (p').

### Agradecimentos

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro pela concessão das bolsas de Iniciação Científica e Estágio Interno Complementar.

### Referências

- Ab'Sáber A.N. 1974. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. *Geomorfologia*, 43: 1-26.
- Albuquerque S.G., Bandeira, R.L. 1995. Effect of thinning and slashing on forage phytomass from a caatinga of Petrolina. Pernambuco. *Brazil Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 30(6): 885-891.

- Alexandre A., Meunier J.D., Lézine A.M., Vincens A., Schwartz D. 1997. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136 (1-4): 213-229.
- Alexandre A., Meunier J.D., Mariotti A., Soubies F. 1999. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. *Quaternary Research*, 1 (2): 187-194.
- Andrade-Lima D. 1966 Estudo crítico da nomenclatura fitogeográfica Latino-Americana. *Revista Geográfica*, Rio de Janeiro, 63: 109-116.
- Andrade-Lima D. 1981. The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, 4: 149-53.
- Augustin C.H.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: relief, processus, environnement*, 3: 355-376.
- Barboni D., Bonnefille R., Alexandre A., Meunier J.D. 1999. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152: 87-100.
- Barboni D., Bremond L., Bonnefille R. 2007. Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 246, 454-470.
- Barros L.F.P., Coe H.H.G., Seixas A.P., Magalhães A.P., Macario K.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.
- Bremond L. 2003. Calibration des fonctions de transfert entre assemblages phytolithiques, structures des végétations et variables bioclimatiques actuelles, pour l'intégration de la dynamique des biomes herbacés dans les modèles de végétation. Thèse de Doctorat en Géosciences de l'environnement, direction J. GUIOT. Université Aix-Marseille III.
- Bremond L., Alexandre A., Hély C., Guiot J. 2005a. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. *Global and Planetary Change* 45, 277-293.
- Bremond L., Alexandre A., Peyron O., Guiot J. 2005b. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography* 32, 311-327.
- Bremond L., Alexandre A., Wooller M.J., Hély C., Schäfer P.A., Majule A., Guiot J. 2008. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. *Global and Planetary Change* 61, 209-224.
- Calegari M.R., Madella M., Buso Jr. A.A., Osterrieth M.L., Lorente F.L., Pessenda L.C.R. 2015. Holocene Vegetation and Climate inferences from Phytoliths and Pollen from Lagoa do Macuco, North Coast of Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 06(1): 01-10.
- Chueng 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. Monografia (Licenciatura em Geografia) - Faculdade de Formação de Professores, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 115f.
- Coe H.H.G. 2009. Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios / Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário. Geologia Marinha. PhD. Thesis, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 300 p.
- Coe H.H.G., Alexandre A., Carvalho C.N., Santos G.M., Silva A.S., Sousa L.O.F., Lepsch I.F. 2012a. 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., Chueng K., Gomes J.G. 2012b. Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos. *Revista Tamoios (Online)*, AnoVII: 60 - 76.
- Coe H.H.G., Gomes J.G., Chueng K. 2013. Exemplos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas no Estado do Rio de Janeiro através da utilização de biomineralizações de sílica (fitólitos) e isótopos de carbono. *Revista Tamoios (Online)*, v.9: 1 - 21.
- Coe H.H.G.; Sousa L.O.F. 2014a. The Brazilian "Caatinga": Ecology and Vegetal Biodiversity of a Semiarid Region. In: GREER, F. E. (Ed.). *Dry Forests: Ecology, Species Diversity and Sustainable Management*. 1. New York: Nova Science, p. 81-103.
- 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.M. 2014b. Understanding Holocene variations in the vegetation of Sao Joao River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 415: 59 - 68.
- Coe H.H.G., Ramos Y.B.M., Santos C.P., Silva A.L.C., Silvestre C.P., Borrelli, N.; Sousa, L.O.F. 2015. Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the resting of Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. *Quaternary International*, 1: 1-12.
- 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, p. 1-15.
- Fredlund G.G., Tieszen L.L. 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. *Journal of Biogeography* 21, 321e335.
- Giulietti A. M., Harley R.M., Queiroz L.P., Barbosa M.R.V., Bocage Neta A.L., Figueiredo M.A. 2002. Plantas endêmicas da caatinga. In: Sampaio E.V.S.B., Giulietti A.M., Virgínio J., Gamarra-Rojas C.F.L. (ed.). *Vegetação e flora das caatingas*. APNE / CNIP, Recife, PE, p.103-115.
- Gomes J.G., Coe, H.H.G., Macario K.D. 2014. Uso do bioindicador fitólitos na compreensão da gênese de solos na Bacia do Rio São João, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Tamoios (Online)*, 10: 128 - 150.
- Kondo R., Childs C., Atkinson I. 1994. *Opal Phytoliths of New Zealand*. Manaaki Whenua Press, 85p.
- Leal I.R., Tabarelli M., Silva, J.M.C. 2003. *Ecologia e conservação da caatinga*. Ed. Universitária da UFPE, Recife.
- Lorente F.L., Pessenda L.C.R., Calegari M.R., Cohen M.C.L., Rossetti D., Giannini P.C.F., Buso Jr. A.A., Castro D.F., França M.C., Bendassolli J.A., Macario K. 2015. Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 06(1): 01-15.
- Madella M., Alexandre A., Ball T. 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, 96: 253-260.
- 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.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 2002. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. Universidade Federal de Pernambuco, Conservation International do Brasil e Fundação Biodiversitas, Brasília.
- Mulholland S.C. 1989. Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns. *Journal of Archaeological Science*, 16: 489-511.
- Nimer E. 1972. Climatologia da região Nordeste do Brasil – Introdução à climatologia dinâmica. *Ver. Brás. Geogr.*, 34:3-51.
- Parolin M., Monteiro M.R., Coe H.H.G., Colavite, A. P. 2017. Considerações Paleoambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, SBGFA: 96 - 103.
- Piperno D.R. 1988. *Phytoliths Analysis: an archaeological and geological perspective*. San Diego, Academic Press, 280p.
- Prado D. 2003. As caatingas da América do Sul. In: Leal I.R., Tabarelli M., Silva J.M.C. (eds.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, p. 3-73.
- Reis A.C. 1976. Clima da caatinga. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48: 325-335.
- Sampaio E.V.S.B. 1995. Overview of the Brazilian Caatinga. In: Bullock S.H., Mooney H.A., Medina E. (eds.). *Seasonally*

- Dry Tropical Forests. Cambridge University Press, Cambridge, p 35-63.
- Stromberg C.A.E. 2004. Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 207: 239-275.
- Tabarelli M., Silva J.M.C. 2003. Áreas e ações prioritária para a conservação da biodiversidade da Caatinga. In: Leal I.R., Tabarelli M., Silva J.M.C. (Eds.). *Ecologia e conservação da caatinga*. Ed. Universitária da UFPE, Recife, p. 777-796.
- Thinkstock. 2017. Mapa de América do Sul. Disponível em <http://www.thinkstockphotos.com.pt/image/ilustraci%C3%B3n-de-stock-south-america-map-outline-vector-with/507525606>
- Tricart J. 1961. As zonas morfoclimáticas do nordeste brasileiro. *Notícia Geomorfológica*, 3: 17-25.
- Twiss C. 1969. Dust deposition and opal phytoliths in the Great Plains. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences XI, special issue*: 73-82.
- Twiss C. 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: Rapp Jr. G., Mulholland S.C. (Eds.). *Phytolith Systematics*. Plenum Press, New York, p 113-128.

---

Recebido 29 de maio de 2017  
Aceito 17 de outubro de 2017