



O USO DO BIOINDICADOR FITÓLITO EM ESTUDOS AMBIENTAIS E ARQUEOLÓGICOS NO BRASIL

UTILISATION DU BIOINDICATEUR PHYTOLITE DANS DES ÉTUDES ENVIRONNEMENTALES ET ARCHÉOLOGIQUES AU BRÉSIL

EL USO DEL BIOINDICADOR FITOLITO EN ESTUDIOS AMBIENTALES Y ARQUEOLÓGICOS EN BRASIL

Antônia Elisangela Ximenes Aguiar

Doutoranda do curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará (UECE)

E-mail: elisximenes@gmail.com

Heloísa Helena Gomes Coe

Professora da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ)

E-mail: heloisacoe@yahoo.com

Marco Madella

Professor da Universitat Pompeu Fabra (Espanha)

E-mail: marco.madella@upf.edu

Maria Lucia Brito da Cruz

Professora da Universidade Estadual do Ceará (UECE)

E-mail: mlbcruz@gmail.com

RESUMO:

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica acerca de estudos ambientais realizados nos últimos onze anos no Brasil utilizando o bioindicador fitólitos, partículas de opala biogênica depositadas nas células vegetais. O objetivo é disponibilizar à comunidade científica trabalhos relevantes sobre a utilização dos fitólitos em estudos paleoambientais e arqueológicos desenvolvidos no Brasil. As pesquisas com fitólitos têm obtido um grande crescimento nos últimos anos, no entanto esse *proxy* ainda é pouco utilizado e valorizado no Brasil. Esses estudos são essenciais para compreensão da evolução das paisagens, inclusive as litorâneas, ao longo do tempo geológico, mas se mostram pouco difundidos em algumas regiões do Brasil. Como metodologia de pesquisa foi acessado principalmente o site “Periódicos CAPES”, bem como coletadas informações sobre teses, dissertações e monografias de pesquisadores nacionais. Os resultados indicaram que há uma concentração (45,7%) dos trabalhos em áreas de estudo na região Sudeste e essa disparidade se confirma quando analisamos também o número de publicações de trabalhos, cerca de 61,8% das publicações nacionais. Por fim, a espacialização da produção científica, concentrou-se principalmente na região Sudeste-sul do Brasil, mais precisamente nos estados do Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Bioindicadores; Fitólitos; Estudos Paleoambientais.

RÉSUMÉ:

Ce travail présente une révision bibliographique des études environnementales menées au Brésil au cours des onze dernières années à l'aide du bioindicateur phytolithes, qui sont des particules d'opales biogénique déposées dans des cellules végétales. L'objectif est de mettre à la disposition de la communauté scientifique des travaux pertinents sur l'utilisation des phytolithes dans les études paléoenvironnementales et archéologiques développées au Brésil. Les recherches sur les phytolithes ont connu une forte croissance ces dernières années, mais cet indicateur est encore peu utilisé et valorisé au Brésil. Ces études sont essentielles pour comprendre l'évolution des paysages, y compris les régions côtières, au cours des temps géologiques, mais elles ne sont pas très répandues dans certaines régions du Brésil. Comme méthodologie principale de

recherche, le site Web "Périodiques CAPES" a été consulté, ainsi que des informations sur des thèses, mémoires et monographies de chercheurs nationaux. Les résultats indiquent une concentration (45,7%) des travaux dans la région du Sud-Est et cette disparité est confirmée lorsque on analyse également le nombre de publications, le Sud-est est responsable pour environ 61,8% des publications nationales. Enfin, la spatialisation de la production scientifique s'est principalement concentrée dans la région sud-est-sud du Brésil, plus précisément dans les États de Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais et Rio Grande do Sul.

Mots-clés: Bioindicateurs; Phytolithes; Etudes Paléoenvironnementales.

RESUMEN:

Este trabajo presenta una revisión bibliográfica acerca de estudios ambientales realizados en los últimos once años en Brasil utilizando el bioindicador fitolitos, partículas de opala biogénica depositadas en las células vegetales. El objetivo es poner a disposición de la comunidad científica trabajos relevantes sobre la utilización de los fitolitos en estudios paleoambientales y arqueológicos desarrollados en Brasil. Las investigaciones con fitolitos han obtenido un gran crecimiento en los últimos años, sin embargo ese *proxy* todavía es poco utilizado y valorado en Brasil. Estos estudios son esenciales para comprender la evolución de los paisajes, incluso los litorales, a lo largo del tiempo geológico, pero se muestran poco difundidos en algunas regiones de Brasil. Como metodología de investigación se accedió principalmente al sitio "Periódicos CAPES", así como recolectadas informaciones sobre tesis, disertaciones y monografías de investigadores nacionales. Los resultados indicaron que hay una concentración (45,7%) de los trabajos en áreas de estudio en la región Sudeste y esa disparidad se confirma cuando analizamos también el número de publicaciones de trabajos, cerca del 61,8% de las publicaciones nacionales. Por último, la espacialización de la producción científica, se concentró principalmente en la región Sudeste-sur de Brasil, más precisamente en los estados de Río de Janeiro, Paraná, Minas Gerais y Rio Grande do Sul.

Palabras clave: Bioindicadores; Fitólitos; Estudios Paleoambientales.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a utilização do bioindicador fitólito cresceu consideravelmente nos últimos anos, despertando a curiosidade e o interesse de muitos pesquisadores. A ampliação do conhecimento possibilitou a diversidade nas abordagens em que ele é usado, seja como *proxy* arqueológico ou paleoambiental.

Conforme Zurro *et al.* (2016), a diversidade de abordagens dificulta a utilização do acervo bibliográfico disponível em um contexto mais amplo de metodologias e modelos, que muitas vezes, estão fortemente integrados em arqueobotânica e estudos paleoambientais. Uma padronização desses estudos facilitaria não só as pesquisas relacionadas a fitólitos, como permitiria maiores oportunidades de aplicação da técnica para informar sobre as culturas do passado e suas estratégias de exploração dos recursos, bem como a dinâmica relacionada com mudanças do clima e modificações ambientais de origem antrópica.

O objetivo do artigo é disponibilizar ao leitor trabalhos relevantes sobre a utilização dos fitólitos em estudos paleoambientais e arqueológicos desenvolvidos no Brasil em um horizonte temporal de onze anos e a espacialização geográfica desses trabalhos, como subsídio para futuras pesquisas.

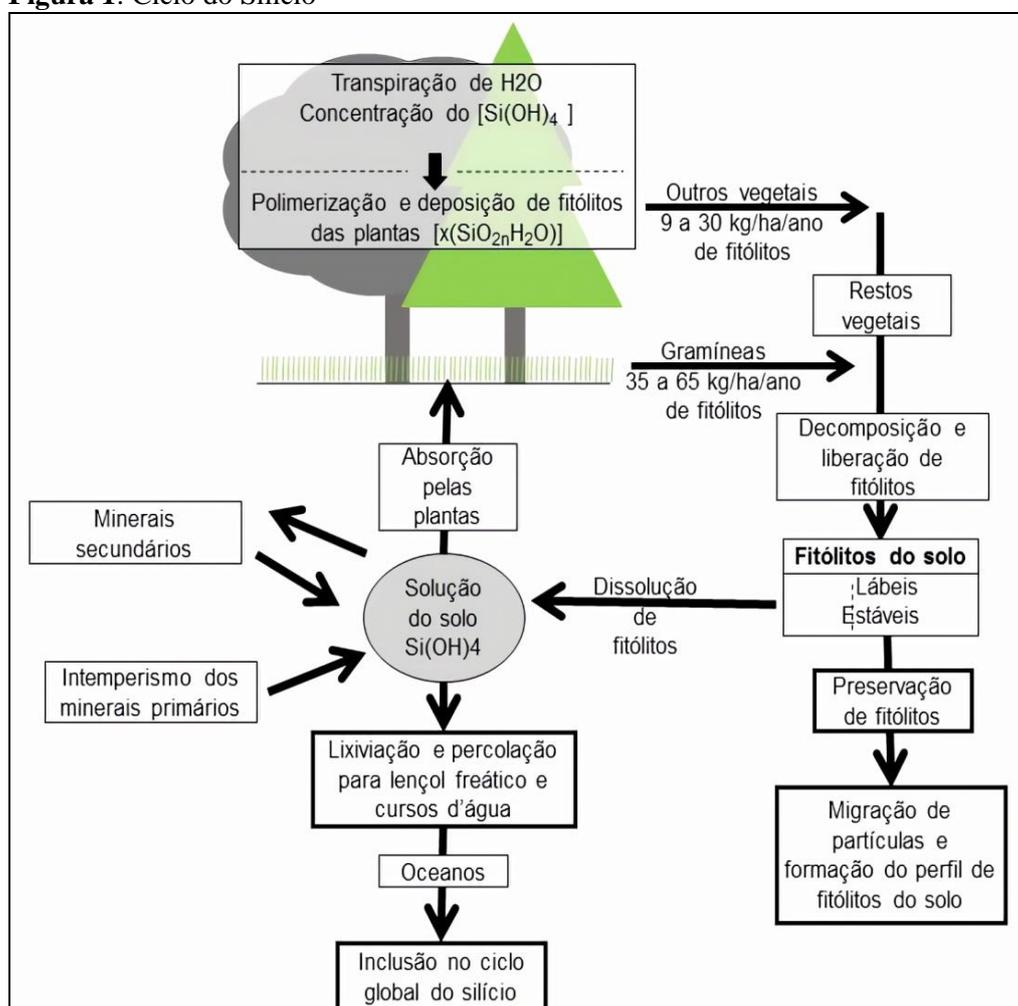


2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Piperno (1988), o termo fitólito tem origem grega e significa pedra de planta, ou fósil de planta, pois a forma do fitólito recorda um molde da célula da planta em que foi formado (COE *et al.*, 2014a).

O processo de formação e produção dos fitólitos se inicia ainda no solo com a dissolução do silício por processos de intemperização dos minerais primários e secundários, podendo ser originado também pela decomposição de restos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação de silício de óxidos de Fe e Al e dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, tornando-se assim disponível no solo para a absorção pelas plantas (LEPSCH, 2011) (Figura 1).

Figura 1: Ciclo do Silício



Fonte: Lepsch, 2011

A senescência e a decomposição dos restos vegetais fazem com que os fitólitos sejam incorporados ao solo, sendo estes bastante estáveis, podendo tornar-se importantes microfósseis, já que apresentam configurações típicas da vegetação de origem (COE *et al.*, 2014a).

Os fitólitos, por se tratarem de um material resistente, se mostram estáveis aos efeitos adversos do intemperismo físico, químico e/ou biológico de determinados ambientes. Em depósitos terrestres, as reconstruções climáticas baseadas em estudos palinológicos são muitas vezes limitadas pela destruição do pólen em ambientes secos ou oxidantes (como em solos tropicais bem drenados), ou pela variabilidade da produção e dispersão das espécies vegetais (ALEXANDRE *et al.*, 1997; BREMOND *et al.*, 2005). Além disso, os valores $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo (MOS) registram variações entre plantas C3 e C4, mas como as plantas C3 incluem vários táxons além das dicotiledôneas lenhosas, os valores $\delta^{13}\text{C}$ não expressam adequadamente a densidade arbórea (ALEXANDRE *et al.*, 1999; BREMOND *et al.*, 2005). Já os fitólitos permitem distinguir entre gramíneas C3 e C4, podendo-se interpretar os valores $\delta^{13}\text{C}$ da MOS como predominância de floresta ou pradaria C3 e densidade da floresta (CALEGARI *et al.*, 2013)

Apesar dos fitólitos serem bastante resistentes às intempéries é essencial o conhecimento de sua tafonomia para cuja compreensão, conforme Madella e Lancelotti (2012), em um ambiente antrópico e um não-antrópico é necessário primeiro entender o que aconteceu com objeto de estudo antes de sua deposição, pois diferentes formas de tafonomia pré e pós-deposição podem afetar assembleias fitolíticas que são recuperadas de sedimentos e solos (MADELLA e LANCELOTTI, 2012).

As análises de fitólitos permitem: a) caracterização específica e funcional de plantas; b) reconstruções paleobotânicas e paleoambientais (comparação com assembleias fitolíticas de vegetações modernas e/o à identificação taxonômica das plantas e possível identificação da vegetação - semelhante ao pólen- em geral, nas pesquisas usa-se a combinação das duas abordagens); c) arqueológicas (formação de sítios arqueológicos, modos de vida, alimentação, agrossistemas, etc.); d) melhor compreensão das relações evolução/degradação dos solos; e) a conformação das matrizes e sua relação com a estabilidade dos agregados do solo; f) melhor compreensão do ciclo biogeoquímico da sílica (dissolução, preservação e transferência) (COE *et al.*, 2014).

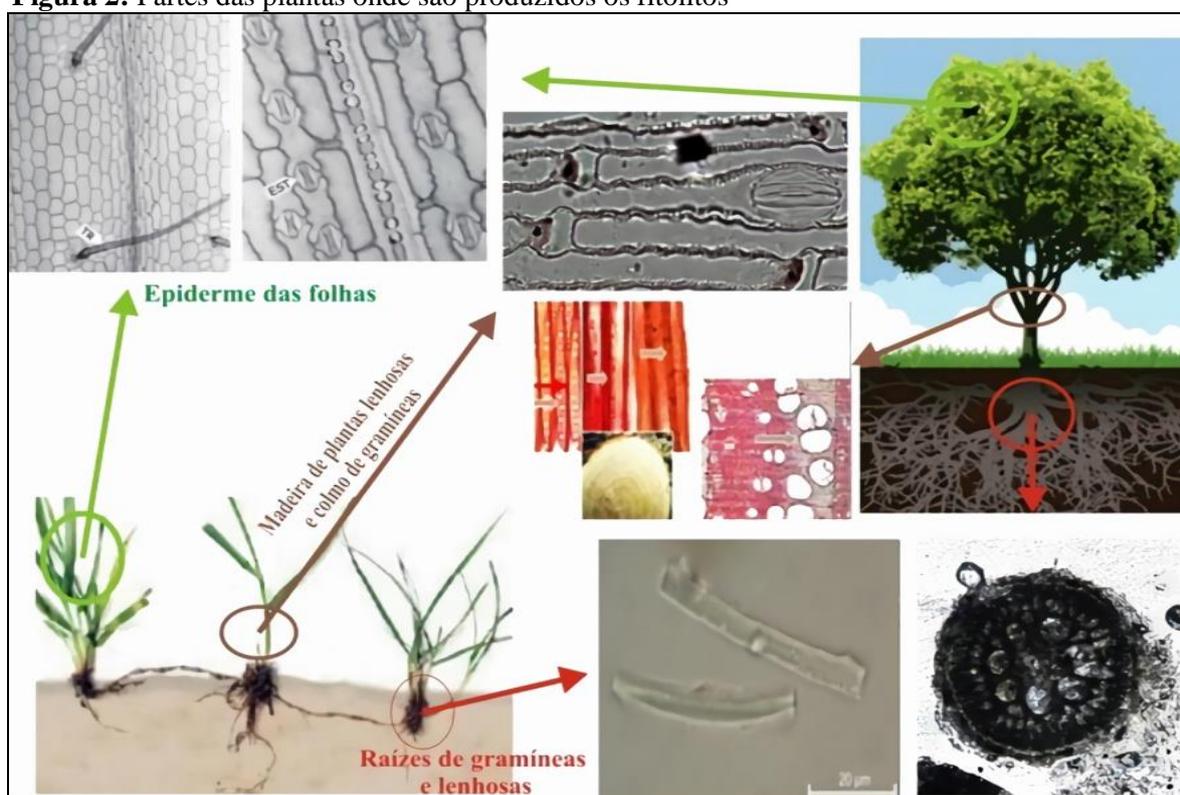
A produção de fitólitos pelas plantas não é homogênea. A maior quantidade de produção fitolítica é o das Poaceae (gramíneas), bem maior quando comparadas às dicotiledôneas lenhosas. Nas gramíneas os fitólitos são particularmente abundantes, atingindo de 1 a 5% de SiO_2 do peso seco (WEBB e LONGSTAFFE, 2000).



Do ponto de vista biológico, a produção dos fitólitos tem várias funções. Segundo Madella (2008), os fitólitos servem, sobretudo, para dar suporte mecânico para as células; em segundo, para dar força aos órgãos e estruturas das plantas; em terceiro lugar para proteger as plantas dos herbívoros e parasitas e, finalmente, para neutralizar ânions e cátions “venenosos” para as plantas.

Os fitólitos podem ser produzidos nas folhas de gramíneas ou de plantas lenhosas, no tronco das árvores ou de arbustos e nas raízes de gramíneas ou de plantas lenhosas (COE, 2009; COE *et al.*, 2014a). Porém, na maioria dos casos, os fitólitos se precipitam na epiderme, no mesófilo das gramíneas e no xilema secundário das dicotiledôneas lenhosas (WELLE, 1976; MOTOMURA *et al.*, 2004) (Figura 2).

Figura 2: Partes das plantas onde são produzidos os fitólitos



Fonte: organizado pelos autores

Assim como outros bioindicadores, os fitólitos apresentam algumas limitações quanto ao seu uso, que devem ser observadas. Conforme Piperno (2006), a produção dos mesmos é conhecida como múltipla e redundante, já que uma mesma planta pode produzir diferentes morfotipos (multiplicidade) e o mesmo morfotipo pode ser produzido em diferentes tecidos de plantas e por diferentes plantas (redundância), o que dificulta a identificação da planta que o originou. A multiplicidade e redundância da produção de fitólitos pelas plantas fazem com que atribuir valor

taxonômico a um único fitólito seja pouco consistente (BREMONT *et al.*, 2005). É por essa razão que para fins de diagnóstico faz-se necessário a análise da assembleia fitolítica como um todo e não apenas de um único fitólito ou uma planta específica. Somente de posse de uma assembleia fitolítica é possível uma análise para fins de diagnóstico, tendo em vista que a mesma é constituída por um número estatisticamente válido de tipologias fitolíticas e representa a produção média qualitativa e quantitativa de fitólitos de uma vegetação em particular (BREMONT *et al.*, 2005).

Para facilitar os estudos fitolíticos e de certa forma padronizar a nomenclatura dos fitólitos, foi criada uma normatização pelo ICPN 1.0 (*International Code for Phytolith Nomenclature*) (MADELLA *et al.*, 2005), que funciona como um catálogo desenvolvido com o intuito de desenvolver a comunicação entre pesquisadores, criando uma uniformização da descrição e nomenclatura dos fitólitos. Segundo essas normas, um tipo de fitólito pode ser observado em um determinado táxon, mas ele só será considerado como diagnóstico se for exclusivamente deste táxon, podendo, também, ser identificado quando a flora de uma região geográfica específica foi estudada.

Assim, como os fitólitos podem se mostrar por vezes redundantes em alguns aspectos, algumas plantas produzem fitólitos que são considerados morfologicamente distintos como, por exemplo, as dicotiledôneas lenhosas (*globular granulate*), as palmeiras (*globular echinate*), as ciperáceas (*papillae*) e principalmente as Poaceae (gramíneas), por serem consideradas as maiores produtoras e onde podemos extrair informações ao nível de subfamília (Quadro 1).

Quadro 1: Tipos de fitólitos e plantas correspondentes. Adaptado de Coe, 2009

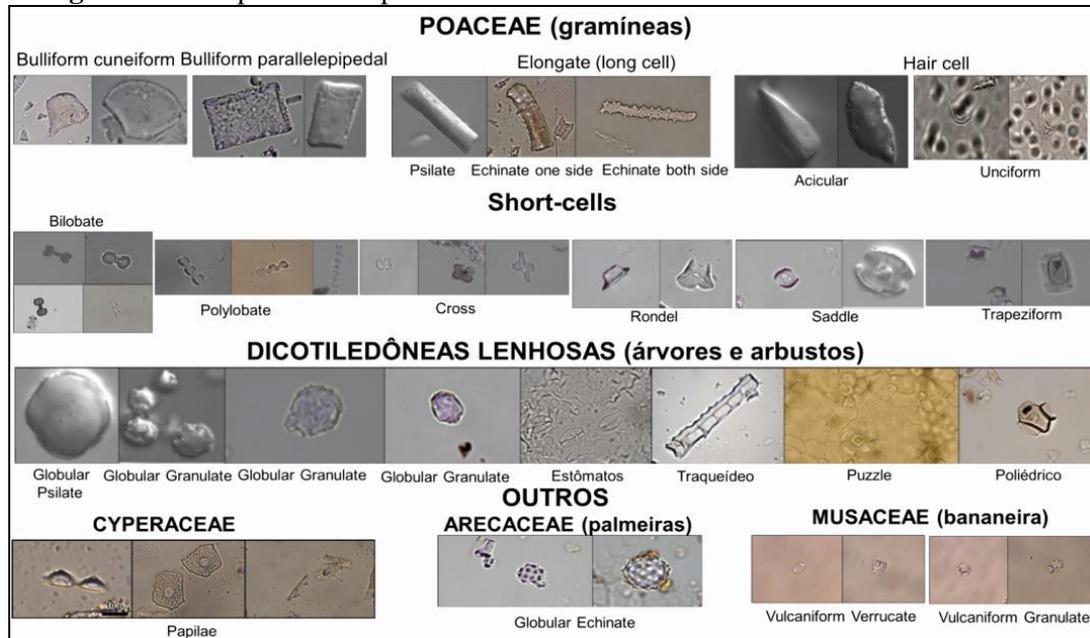
A Fitólitos característicos das Poaceae (TWISS, 1969; TWISS, 1992; KONDO <i>et al.</i> 1994):		
Sub-família	Características Ambientais	Principais Fitólitos
Panicoideae	Típica de climas quentes e úmidos ou de solos com forte teor de água disponível, de ciclo fotossintético C4 e altas; também existem algumas com ciclo fotossintético C3, que crescem em áreas de sombras.	<i>Bilobate, polylobate e cross</i>
Chloridoideae	De ciclo fotossintético C4 e baixas, adaptadas a regiões quentes e secas;	<i>Saddle</i>
Pooideae	De ciclo fotossintético C3, abundante em regiões temperadas, frias e/ou de altitude em zona intertropical.	<i>Rondel, trapeziform e polylobate</i>



Arundinoideae	De ciclo fotossintético C3, são encontradas em todas as regiões, ou seja, não produzem tipos de fitólitos diagnósticos.	Rondel, bilobate, polylobate e cross;
Bambusoideae	De ciclo fotossintético C3, características de zonas tropicais e temperadas quentes, são essencialmente florestais, não produzem fitólitos de tipos diagnósticos.	Bilobate, polylobate, cross, saddle; rondel
Todas as Gramíneas	Todos os ambientes	Acicular hair cell - são produzidos nos pelos absorventes da epiderme; Elongate (echinate ou smooth) - produzido nas células longas; Bulliform (Cuneiform ou Parallelepipedal) - produzido nas células buliformes da epiderme.
B - Fitólitos característicos das Dicotiledôneas (SCURFIELD <i>et al.</i> , 1978; WELLE, 1976; KONDO <i>et al.</i> , 1994; PIPERNO, 1996; ALEXANDRE <i>et al.</i> , 1999):		
Principais Fitólitos		
Globular granulate – tipo de fitólito produzido no xilema secundário das dicotiledôneas lenhosas;		
Globular smooth – tipo de fitólito que pode ser de folhas e galhos de dicotiledôneas, também de algumas monocotiledôneas herbáceas e podem ser observados nas raízes de algumas gramíneas.		
Traqueídeos – produzidos nos vasos condutores das lenhosas		
C - Outras Famílias:		
Plantas	Principais Fitólitos	
Areaceae (palmeiras)	Globular echinate (KONDO <i>et al.</i> , 1994; RUNGE, 1999; VRYDAGHS e DOUTRELEPONT, 2000)	
Bomeliaceae	Globular echinate (PIPERNO, 1985, 2006);	
Cyperaceae	Papillae (conical) (Le COHU, 1973; OLLENDORF, 1987; KONDO <i>et al.</i> , 1994; WALLIS, 2003);	
Musaceae (bananeira)	Volcaniform (granulate ou verrucate) (PIPERNO, 2006);	
Pinaceae	Spherical with sockets (spiny body, spiked) (BLINNIKOV, 2002; DELHON <i>et al.</i> , 2003).	

Com base nessas informações sobre os fitólitos é essencial o conhecimento de suas características morfológicas, principalmente no que se refere aos tipos de fitólitos mais comuns e a que tipo de plantas os mesmos correspondem (Figura 3).

Figura 3: Principais morfotipos de fitólitos



3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a revisão bibliográfica foi realizado o levantamento dos trabalhos utilizando o banco de dados periódicos da CAPES como principal fonte de pesquisa e outros como o online library e o research gate, buscando artigos relevantes dos principais pesquisadores sobre o tema no Brasil, além de trabalhos de conclusão de curso (monografias, dissertações e teses). Os trabalhos selecionados serão apresentados a seguir, de forma cronológica, segundo tratar-se de reconstituições paleoambientais e sítios arqueológicos. Para a espacialização geográfica dos trabalhos foi utilizado o programa gvSIG 2.4.

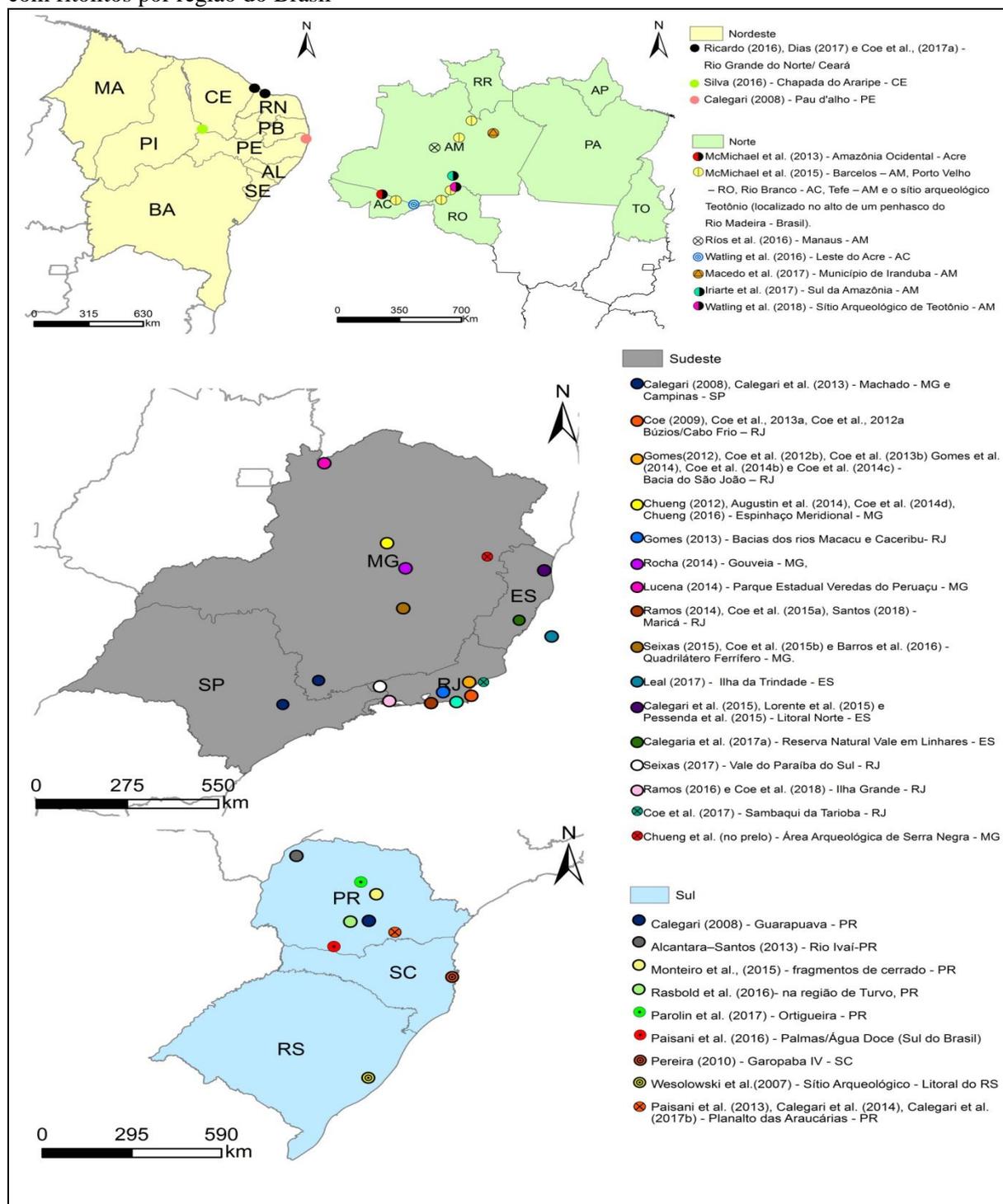
4 RESULTADOS

No artigo “Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos no Brasil” (LUZ *et al.*, 2014), os autores fazem um levantamento histórico de todos os trabalhos desenvolvidos no Brasil desde 1960 até 2013 e observam que as produções científicas dos anos 60 e 70 foram de números iguais (três publicações) e que posteriormente a essas décadas a produção científica se mostrou esparsa e



irregular, recobrando sua regularidade a partir de 2009. Neste trabalho, continuamos essa revisão, considerando principalmente publicações desde 2007 efetuadas nesta linha de pesquisa. Nosso propósito é inferir o nível de conhecimento sobre essa temática no Brasil e as perspectivas para o desenvolvimento de novos estudos. A espacialização dessas pesquisas está representada na Figura 4.

Figura 4: Mapa com a localização dos principais estudos ambientais e arqueológicos desenvolvidos com fitólitos por região do Brasil



Fonte: organizado pelos autores. Base cartográfica disponibilizada pelo IBGE (2014)

4.1 ESTUDOS DE FITÓLITOS DE SOLOS/SEDIMENTOS PARA FINS DE EVOLUÇÃO AMBIENTAL

A partir de 2007, uso de fitólitos como bioindicador para fins de reconstituição paleoambiental tem se desenvolvido de maneira mais regular em pesquisas voltadas para essa temática nas Regiões Sudeste e Sul, sobretudo nos estados do Rio de Janeiro, Paraná e Minas Gerais. Nas outras regiões do Brasil, esses estudos ainda são incipientes ou mesmo ausentes.

Calegari (2008), em sua Tese de Doutorado, estudou o horizonte A húmico em Latossolos em distintas regiões do Brasil (Guarapuava/ PR, Machado/MG, Campinas/SP, Pau d'Alho/PE) com o uso dos fitólitos e técnicas isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$) como marcadores das condições paleoambientais de origem. Os resultados indicaram vegetação menos densa que a atual nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul, sugerindo, assim, clima mais seco entre o Holoceno inferior e médio. No Holoceno superior, constatou-se a expansão da vegetação de floresta, inferindo-se clima mais úmido e quente nas regiões Sudeste e Nordeste, e mais úmido e frio na região Sul.

Em sua Tese de Doutorado, Coe (2009) apresentou estudo referente à evolução da vegetação xeromórfica na região de Búzios/Cabo Frio – RJ, a partir dos fitólitos extraídos de amostras coletadas em solos da região. Os resultados permitiram identificar mudanças na densidade de cobertura arbórea, não se registrando grandes variações no tipo de formação vegetal desde os últimos ~13.000 anos cal AP., o que sugere que a vegetação foi sempre caracterizada pela presença de flora xeromórfica, nunca atingindo a densidade arbórea típica de florestas úmidas durante o intervalo de tempo compreendido no estudo (COE *et al.*, 2013a). Dentre os resultados pertinentes a essa Tese, a criação de um índice fitolítico para a densidade de palmeiras foi de grande relevância científica (COE *et al.*, 2012a).

Em trabalhos posteriores, Gomes (2012), Gomes *et al.* (2014) e Coe *et al.* (2014b, 2014c) realizaram estudos sobre a gênese de formação dos solos e mudanças ambientais na Bacia do Rio São João, RJ identificadas com base nas assembleias fitolíticas. Foram coletadas amostras de cinco perfis de solos da região, sendo dois de origem aluvial e três de origem eluvial. O *proxy* em questão apresentou limitações em solos de origem aluvial, devido à mistura de materiais de aporte do rio, mas para os solos desenvolvidos a partir de material *in situ* os fitólitos se mostraram bons indicadores de mudanças ambientais.

Chuang (2012), Augustin *et al.* (2014), Coe *et al.* (2014d) inferiram variações climáticas e da cobertura vegetal por meio de análises fitolíticas e isotópicas na região do Espinhaço Meridional,



em Minas Gerais, buscando auxiliar a compreensão dos processos geomorfológicos que levaram à formação de sequências alúvio-colúviais. Nos perfis de solos analisados foi possível identificar sequências deposicionais desenvolvidas concomitantemente no tempo, no entanto com processos de acumulação e intensidade ocorrendo de formas diferentes. Os resultados sugerem a atuação intensa de processos erosivos na área de estudo. Em 2016, Chueng deu continuidade à pesquisa, que visava contribuir para a compreensão dos processos geomorfológicos, que levaram à formação de rampas deposicionais próximas a afloramentos de quartzito nessa região. Foram amostrados 12 perfis de solo em 3 rampas deposicionais em três áreas distintas. Nas três áreas estudadas, os resultados fitolíticos e isotópicos não indicaram nenhuma grande mudança no tipo de vegetação ao longo do tempo, embora tenha se verificado variações ao longo das vertentes. Em todos os perfis foi registrada uma vegetação aberta, com predomínio de gramíneas, principalmente do tipo C4. Outra tendência observada em todas as áreas foi a de redução da presença de lenhosas em profundidade e o predomínio de cerrado desde 6.000 anos cal AP.

Coe *et al.* (2012b, 2013b) citaram exemplo de três casos de utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono em estudos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas, compreendendo áreas do Estado do Rio de Janeiro e Minas Gerais. Tais estudos reforçam a importância dos fitólitos nas reconstituições paleoambientais, uma vez que, associado a outros *proxies* (análise *multiproxy*), permitem compreender a evolução da paisagem e as mudanças ambientais de uma determinada região.

A utilização de fitólitos também foi realizada por Monteiro (2012) ao estudar os sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná. Foram identificadas quatro fases ambientais distintas na região, alternando períodos mais frios e secos e períodos mais quentes e úmidos, corroborando informações apresentadas anteriormente que apontaram oscilações climáticas desde 3.220 anos para a região.

Alcântara-Santos (2013) realizou a reconstituição paleogeográfica e paleoambiental do baixo curso do Rio Ivaí, no Paraná, a partir de perfis de solo e sedimentos de terraços, sendo observadas mudanças na paisagem em três fases distintas.

Calegari *et al.* (2013) utilizaram a análise dos fitólitos para reconstituição paleoambiental em Machado-MG, que trouxe contribuições relevantes acerca dos processos pedogenéticos da área de estudo, inferindo que o ambiente sob o qual o epípede umbrico foi formado era uma mistura de vegetação com predominância de plantas C3 em condições mesotérmicas e com pouca variação na umidade desde o Holoceno Médio.

Gomes (2013) estudou a evolução do uso do solo e da cobertura vegetal durante o Quaternário nas bacias dos rios Macacu e Caceribu, RJ, através de biomineralizações de sílica, abordando as mudanças na vegetação no setor leste da Baía de Guanabara, corroborando estudos feitos anteriormente.

Paisani *et al.* (2013) utilizaram análises de isótopos do carbono do solo e de fitólitos com o intuito de verificar a densidade de vegetação para inferências das mudanças climáticas do Quaternário tardio, associadas à dinâmica evolutiva de um dos paleovales das bacias do Planalto das Araucárias. Apesar dos dados obtidos terem sido insuficientes para detectar a mudança climática do último interestádio para o Último Máximo Glacial, foi possível inferir que o sistema geomorfológico manteve-se em equilíbrio dinâmico, enquanto que a dinâmica pedogenética apresentou mudanças de progressiva para regressiva. Por sua vez, a dinâmica fluvial apresentou mudanças ao longo do Último Interestádio para o Último Máximo Glacial induzidos por eventos neotectônicos.

Calegari *et al.* (2014) apresentaram a assinatura dos fitólitos obtida nos horizontes superficiais de quatro diferentes solos que se desenvolveram sob vegetação campestre e Floresta Ombrófila Mista (OMF) nos estados de Santa Catarina e Paraná, sul do Brasil. Os índices fitolíticos (I_{ph}, I_c e D/P) foram aplicados e expressaram com exatidão a vegetação atual e as condições ambientais dos perfis estudados.

Rocha (2014) estudou a dinâmica geomorfológica em uma voçoroca na região de Gouveia, MG, com a finalidade de inferir a cobertura vegetal e análise das condições climáticas durante o Quaternário. As análises dos tipos de fitólitos não identificaram mudanças no tipo de vegetação ao longo da sequência estudada, indicando sempre a predominância de gramíneas. Grandes variações foram observadas em relação ao estoque de fitólitos, à granulometria e conteúdo de matéria orgânica do material, indicando uma origem ora coluvial, ora aluvial, da sequência estudada.

Também em Minas Gerais, Lucena (2014) estudou a paleovegetação e suas implicações para a dinâmica geomorfológica no Parque Estadual Veredas do Peruaçu, onde identificou três ambientes diferenciados, tanto pelas condições ambientais de estresse hídrico e cobertura vegetal quanto pela capacidade de perda ou acumulação de sedimentos.

No trabalho de Ramos (2014), a autora buscou estabelecer coleções de referências modernas dos fitólitos e isótopos de carbono em plantas e sedimentos das diferentes comunidades vegetais que compõem atualmente a restinga de Maricá, RJ, para posterior comparação com amostras fósseis, detectando possíveis variações durante o período Quaternário. A partir da delimitação das comunidades vegetais que compõem essa restinga, assim como a identificação das principais



espécies presentes em cada uma delas, Coe *et al.* (2015a) constituíram coleções de referência para reconstituições paleoambientais desse litoral e estabeleceram a dinâmica de produção e acumulação de assembleias de fitólitos em restinga. Essas referências modernas foram utilizadas na Tese de Santos (2018), que objetivou reconstituir as condições paleoambientais desta planície costeira, procurando contribuir para o entendimento de sua evolução durante o Holoceno, onde foram identificadas três fases com condições paleoambientais distintas.

Em 2015, Pessenda *et al.* desenvolveram importante pesquisa no Espírito Santo, na área da Reserva Natural Vale (RNV) e região. O trabalho buscou caracterizar a dinâmica da vegetação e marinha, com inferências climáticas, em locais de floresta de tabuleiros e campos naturais utilizando diversos *proxies*. O estudo produziu subsídios importantes para a melhor compreensão das flutuações climáticas, marinhas e sua influência. Na costa norte do Estado do Espírito Santo, Lorente *et al.* (2015) e Calegari *et al.* (2015) utilizaram *proxies* complementares como pólen e fitólitos para se obter inferências climáticas e da vegetação na Lagoa do Macuco, litoral norte do Estado do Espírito Santo.

Seixas (2015), Coe *et al.* (2015b) e Barros *et al.* (2016) trabalharam com sedimentos provenientes do Quadrilátero Ferrífero, MG. Utilizaram como padrão trabalhos anteriores nesta região, que indicaram o papel das oscilações do clima no Quaternário na evolução geomorfológica, buscando preencher lacunas em relação às respostas fluviais a essas variações do clima. Os resultados mostram que as condições mais secas / mais frias em vales íngremes com encostas desprotegidas podem ter sido decisivas para a formação de camadas relativamente mais espessas de cascalho e areia. Também foi observado que o clima desempenhou um papel importante na dinâmica hidrossedimentológica regional, dadas às variações na vegetação, influenciando o abandono de terraços de preenchimento e formação de várzeas.

Monteiro *et al.* (2015) realizaram análise de assembleias fitolíticas em solos superficiais e serrapilheiras em dois fragmentos de cerrado no Paraná.

Paisani *et al.* (2016) aplicaram a análise fitolítica em sequência pedoestratigráfica para compreender o cenário paleoambiental de evolução de paleocabeceira de drenagem na superfície geomórfica de Palmas/Água Doce (Sul do Brasil). Os autores inferiram que a vegetação de Campo ocupou as encostas da área compreendida pela paleocabeceira estudada do Último Interstadial ao Holoceno Superior. Os índices fitolíticos sugeriram um regime térmico contínuo frio desde o Último Interstadial, mais seco durante o Último Máximo Glacial e Holoceno Médio/Superior.

Rasbold *et al.* (2016) analisaram um testemunho na região de Turvo, no Paraná. Foi possível inferir duas fases de deposição, a primeira com predomínio de condições climáticas mais secas do

que as atuais e a segunda caracterizada por aumento gradativo da umidade. As interpretações corroboraram estudos realizados para a região sul e centro-oeste do Brasil.

Silva (2016), em sua Dissertação, teve como objetivo identificar concentrações de fitólitos em sedimentos quaternários datados, aplicando índices climáticos e de fitofisionomias, para inferir paleoambientes no planalto do Araripe-CE. Os resultados indicaram o aporte e deposição de fitólitos de uma vegetação arbórea/arbustiva, substituída em superfície por vegetação de gramíneas.

Calegari *et al.* (2017a) demonstraram em seu estudo o grande potencial dos fitólitos preservados no solo, associados à análise de conteúdo orgânico e $\delta^{13}\text{C}$ em duas pastagens/savana/campos nativos na Reserva Natural Vale em Linhares (ES).

Na região Sul do Brasil, mais precisamente no Planalto das Araucárias, Calegari *et al.* (2017b) estabeleceram como marcadores de nível estratigráfico da pedogênese do Quaternário Superior regional os solos e paleossolos encontrados na área. Nas três superfícies estudadas foi possível entender as mudanças na paleovegetação e inferir o papel da mudança climática. Os resultados sugeriram que a formação predominante de vegetais foi dominada por monocotiledôneas durante o Quaternário Tardio, com alternância de condições climáticas secas e úmidas no Holoceno Superior, e um regime de clima frio contínuo durante o Estágio Isotópico Marinho (MIS) 2.

Seixas (2017) reconstituiu as condições paleoambientais e inferiu possíveis mudanças no clima e na vegetação associados à formação de linhas de pedra, ocorridas durante o Quaternário, no Médio Vale do Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro. As análises fitolíticas e isotópicas não identificaram mudanças no tipo de formação vegetal durante o período observado, apresentando somente variações em sua densidade arbórea, decorrentes de períodos relativamente mais secos ou mais úmidos. Os resultados foram muito promissores para a utilização de fitólitos na inferência de condições paleoambientais que ocasionaram a formação de *stone-lines*, principalmente quando associados a outros *proxies*.

No Paraná, Parolin *et al.* (2017) encontraram evidências de que houve um período mais seco no Holoceno Médio através das análises fitolíticas de um testemunho de sedimento turfoso, em uma lagoa no Morro da Pedra Branca, em Ortigueira.

Em sua Dissertação, Leal (2017) estudou fitólitos extraídos de perfis de solo na Ilha da Trindade, no Espírito Santo, com o objetivo de dar subsídios para a reconstituição da distribuição espacial da vegetação primária. Os resultados obtidos se mostraram promissores para futuras reconstituições paleoambientais, pois os morfotipos encontrados nas Assembleias Modernas e os índices fitolíticos calculados apresentaram-se bastante coerentes à vegetação atual e aos processos pedológicos e geomorfológicos atuantes na ilha.



Ricardo (2016) e Dias (2017) buscaram contribuir para a discussão sobre a evolução paleoambiental da Caatinga, averiguando se ocorreram mudanças na vegetação ligadas a variações climáticas durante o Quaternário. Foram coletadas amostras de solo no Rio Grande do Norte e no Ceará. Os resultados indicaram que a cobertura arbórea era mais densa no passado e, a partir de cerca de 3000 anos cal AP, verifica-se uma redução da umidade, como observado em outros estudos na região (COE *et al.*, 2017a).

Ramos (2016) e Coe *et al.* (2018) realizaram estudo que objetivou contribuir para o conhecimento das condições ambientais da Ilha Grande, RJ, no Holoceno. 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.

4.2 ESTUDOS DE FITÓLITOS EM SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS

No ano de 2007, Wesolowski *et al.* apresentaram resultados referentes à recuperação e análise de micro vestígios vegetais retidos em cálculos dentários de grupos de pescadores-coletores do litoral sul do Brasil. Foi evidenciado o consumo de alimentos amiláceos em todas as séries esqueléticas observadas, constatando independência entre dieta com aporte de produtos vegetais e utilização de cerâmica.

Pereira (2010) desenvolveu estudo com enfoque para os fitólitos presentes em fragmentos de carvão obtidos no sítio Garopaba IV situado no litoral de Santa Catarina, denotando sua relevância como ferramenta aplicada à pesquisa arqueológica. O trabalho se demonstrou inovador e eficaz, uma vez que a presença de carvão é um traço marcante em sítios arqueológicos, sendo sua análise não somente para fins antracológicos. Os resultados apontam a viabilidade da análise fitolítica por meio da utilização de fragmentos de carvão, o que pode ajudar a reconstituir o modo de vida e a cultura de determinado grupo humano, constituindo assim, boa ferramenta nos estudos arqueológicos.

Em 2013, McMichael *et al.* apresentaram um artigo que objetivava determinar se o fogo recorrente teve influências nas florestas dominadas por bambu, que cobrem cerca de 180.000 km² da Amazônia Ocidental, mais especificamente em pontos da BR- 364 do Acre e áreas do Peru, utilizando uma combinação de imagens MODIS, imagens do Landsat TM e levantamentos de

campo. O carvão do solo dentro de núcleos foi usado para documentar o fogo anterior, e os fitólitos foram empregados para reconstruir os padrões vegetacionais ao longo do tempo.

Em 2015, McMichael *et al.* avaliaram o grau de impactos antigos em toda a Amazônia Ocidental com base em dados arqueológicos e paleoecológicos usando metodologias que permitem comparações inter-regionais. Analisaram as assembleias de carvão e fitólitos de amostras de solo de um sítio arqueológico, locais próximos a sítios arqueológicos, áreas de florestas ribeirinhas e interfluviais e uma estação de pesquisa biológica, que se acredita conter algumas das florestas menos perturbadas da Amazônia. Os locais estudados no Brasil foram: Barcelos-AM, Porto Velho-RO, Rio Branco-AC, Tefé-AM e o sítio arqueológico Teotônio (localizado no alto de um penhasco do Rio Madeira - Brasil).

Em 2016, foram realizados estudos arqueológicos utilizando os fitólitos como marcador da atividade humana passada na Amazônia e adjacências. Morcote-Ríos *et al.* utilizaram fitólitos como ferramenta para estudos arqueobotânicos, paleobotânicos e paleoecológicos em palmeiras amazônicas. Watling *et al.* analisaram no leste do Acre cinco tipos de florestas mais comuns presentes hoje para compará-los de forma análoga com conjuntos paleoecológicos de locais pré-colombianos de terraplenagem na área. O estudo concluiu que as assembleias de fitólitos de superfície analisadas podem ser usadas como análogos para melhorar a precisão de reconstruções arqueológicas e paleoecológicas na região.

Em 2017, Coe *et al.* analisaram a composição fitolítica do Sambaqui da Tarioba, RJ, indicando que a vegetação do entorno deste sítio arqueológico há cerca de 3500/3900 anos cal AP consistiu de floresta seca. Embora a maioria dos dados tenha indicado estabilidade das condições florísticas e ambientais neste período, foram observadas algumas mudanças ao longo do tempo.

Em 2017, Macedo *et al.* desenvolveram uma pesquisa para demonstrar a relação das atividades antrópicas com processos de formação pedogenética de solos com horizontes superficiais escuros, denominados terra preta da Amazônia, no município de Iranduba - AM, Brasil. Através de inúmeras análises, inclusive a fitolítica, a pesquisa confirmou a hipótese de que atividades antrópicas antigas podem desencadear e/ou acelerar processos pedogenéticos previamente creditados apenas a causas naturais.

Iriarte *et al.* (2017) estudaram a expansão tardia Holocênica das línguas Tupi-Guarani do sul da Amazônia para o sudeste da América do Sul e, através de um conjunto de dados paleoecológicos, paleoclimáticos e arqueológicos de escala continental compreenderam que a mudança climática identificada, provavelmente, facilitou a expansão agrícola de cultivo florestal Guarani, aumentando a área de paisagem florestal que eles poderiam explorar.



Em 2018, Watling *et al.* publicaram um importante artigo que apresentou pela primeira vez dados arqueobotânicos de escavações no sítio de Teotônio - AM, onde uma sequência de ocupação humana, que abrange a maior parte do Holoceno, foi recuperada e posteriormente vinculada a uma das primeiras sequências de Terras Pretas Antropogênicas descobertas na bacia Amazônica. Nesse trabalho foram empregadas técnicas de recuperação macrobotânica local, análise de fitólitos de solos e de grãos de fitólito e amido de resíduos líticos.

Chuang *et al.* (no prelo) desenvolveram um trabalho na Área Arqueológica de Serra Negra (Sítio Cabeças 4), MG, na face leste da Serra do Espinhaço Meridional, entre as bacias dos rios Jequitinhonha e Doce, com o objetivo de reconstituição paleoambiental. Predominam fitólitos de gramíneas e palmeiras. Além disso, os fitólitos se mostraram preservados, distribuídos de forma homogênea em profundidade e com índices que não variaram ao longo do perfil, sugerindo condições de estabilidade e de uma vegetação predominantemente de campos rupestres. A similaridade dos resultados das amostras coletadas em ambiente natural (perfil de solo nas proximidades) e no sítio arqueológico sugere que os fitólitos são bons indicadores do ambiente, mesmo em locais com interferência antrópica. Os resultados fitolíticos corroboram as pesquisas arqueológicas já desenvolvidas na área, que ressaltam esta região como propícia para as ocupações de grupos de caçadores coletores e horticultores.

Com base no exposto, optou-se por analisar as publicações dos últimos onze anos de duas maneiras: a primeira leva em consideração a espacialização dos trabalhos no Brasil (Figura 4) e a segunda analisa o número de publicações por região, uma vez que em alguns casos na região Sudeste foi produzido mais de um trabalho para a mesma área de estudo. Em relação à espacialização dos trabalhos no Brasil, observou-se que cerca 45,7% (16) estão concentrados na região Sudeste, 25,7% (9) na região Sul, 20% (7) na região norte (todos estudos arqueológicos) e apenas 8,5% no Nordeste (3). Não foram identificados trabalhos no período analisado na região Centro-Oeste, o que resalta a evidente disparidade na produção de trabalhos no Sudeste em detrimento das demais regiões. Em relação ao número de publicações por região, essa concentração fica ainda mais acentuada na região Sudeste, chegando a 61,8% (34) dos trabalhos publicados, contrastando com os 20% (11) na região Sul, 12,7% (7) na região Norte e apenas 5,4% (3) na região Nordeste. Nesta última região, verificamos que, apesar de denotar grande potencial para estudos dessa natureza (COE *et al.*, 2017a; RICARDO, 2016; RICARDO *et al.*, 2018a, 2018b), as pesquisas ainda são insuficientes.

5 CONCLUSÕES

O artigo buscou retratar os principais trabalhos desenvolvidos no Brasil desde 2007 com o uso dos fitólitos com enfoque para a sua utilização como ferramenta na interpretação paleoambiental e arqueológica de determinadas áreas, demonstrando seu grande potencial em estudos dessa natureza.

Ao longo do trabalho de revisão observou-se que esses estudos ainda se mostram de forma incipiente na literatura e observou-se uma grande disparidade espacial na produção científica, que está concentrada principalmente na região Sudeste-sul do Brasil, mais precisamente nos estados do Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

Apesar da importância dos fitólitos nas pesquisas arqueológicas, nota-se uma escassez na utilização desse *proxy* nesses estudos, como pode ser observado no presente artigo apenas 11 trabalhos, em um universo amostral de 55 trabalhos dos anos de 2007 a 2018.

Apesar do déficit de publicações, o trabalho reforça positivamente a capacidade dos fitólitos como bioindicadores paleoambientais, sendo utilizado nos mais variados ambientes, podendo ser encontrados em áreas continentais e litorâneas e coletados em solos/sedimentos que estejam expostos a processos erosivos ou em contato com o oxigênio, uma vez que os mesmos não se deterioram facilmente e nem oxidam, a exemplo dos grãos de pólen.

Vale ressaltar que, mesmo os fitólitos se mostrando bioindicadores adequados para os estudos de reconstituição paleoambiental, é fundamental a obtenção do máximo de informações disponíveis, através do maior número possível de análises que se complementem, ou seja, da realização de análises *multiproxies*, a fim de se obter maior precisão na inferência da evolução do ambiente e do homem ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por disponibilizar em sua plataforma de busca o acesso aos artigos presentes em sua biblioteca virtual. A primeira autora agradece a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de Doutorado e Mestrado.



REFERÊNCIAS

ALCANTARA-SANTOS, J. C. **Paleogeografia e paleoambientes do Baixo Curso do rio Ivaí, PR.** Maringá: Univ. Est. Maringá. 83p. (Programa de Pós-Graduação em Geografia, Dissertação de Mestrado), 2013.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J. -D.; LÉZINE, A. -M.; VINCENS, A.; SCHWARTZ, D. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, v. 136, n. 1-4, p. 213- 229, 1997.

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**, 51:187-194.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; COE, H. H. G.; CHUENG, K. F.; GOMES, J. G. Analysis of geomorphic dynamics in ancient quartzite landscape using phytolith and carbon isotopes, Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. **Géomorphologie** (Paris), v.4, p.355 - 376, 2014.

BARROS, L. F. P.; COE, H. H. G.; SEIXAS, A. P.; MAGALHÃES, A. P.; MACARIO, K. C. D. Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**. v. 67, p. 71 - 88, 2016.

BREMOND, L. ALEXANDRE, A.; HÉLY, C.; GUIOT, J. 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**, v. 45, n. 4, p. 277-293, 2005.

CALEGARI, M. R. 2008. **Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos.** Piracicaba: ESALQ. Univ. de São Paulo. 259p. (Programa Pós-Graduação em Agronomia, Tese Doutorado).

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; TORRADO, P. V.; PESSENDA, L. C.; MARQUS, F. A. Combining phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary international**. v. 287, p. 47-55, 2013.

CALEGARI, M. R.; RAITZ, E.; MENEGAZZI, C. P.; CECCHET, F. A.; FELIPE, P. L. L.; BUSTOLIN, L. T. Phytolith Signature from Grassland and Araucaria Forest in Southern Brasil. *In*: COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M. (Org.). **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. 1ed. New York: Nova publishers, 2014, p. 91-120.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BUSO JR, A. A.; OSTERRIETH, M. L.; LORENTE, F. L. PESSENDA, L. C. Holocene Vegetation and Climate inferences from Phytoliths and Pollen from Lagoa do Macuco, North Coast of Espírito Santo State, Brazil. **Quaternary and Environmental Geosciences**. v. 6, p. 01-10, 2015.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BRUSTOLIN, L. T.; PESSENDA, L. C.; BUSO JR, A. A.; FRANCISQUINI, M. I.; BENDASSOLI, J. A.; TORRADO, P. V. 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**. v. 437, parte B, p. 156-164, 2017a.

CALEGARI, M. R.; PAISANI, S. D. L.; CECCHET, F. A.; EWALD, P. L. L.; OSTERRIETH, M. L.; PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E. Phytolith signature on the Araucarias Plateau – Vegetation change evidence in Late Quaternary (South Brasil). **Quaternary International**. v. 434, parte B. p. 117-128, 2017b.

CAPES. Portal de Periódicos da Capes. Disponível em: <www.periodicos.capes.gov.br> Acesso em: 08 mar. 2018.

CHUENG, K. F. **Inferência da Cobertura Vegetal e das Condições Climáticas no Espinhaço Meridional, MG, durante o Quaternário, através dos Indicadores Fitólitos e Isótopos de Carbono**. 2012. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

CHUENG, K. F. **Reconstituição paleoclimática da geodinâmica quaternária na Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono**. 2016. Dissertação (Mestrado em Dinâmica da Terra e dos Oceanos) - Universidade Federal Fluminense.

CHUENG, K.; COE, H. H. G.; FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A. M. M.; RICARDO, S. D. F. Reconstituição Paleoambiental da Área Arqueológica de Serra Negra, Face Leste do Espinhaço Meridional (Minas Gerais), através da Análise de Fitólitos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, no prelo.

COE, H. H. G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário**. Rio de Janeiro: Univ. Fed. Fluminense. 2009, 340p. (Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Tese Doutorado).

COE, H. H. G.; CHUENG, K.; GOMES, J. G. Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos. **Revista Tamoios** (Online), Ano VII, p.60 - 76, 2012a.

COE, H. H. G.; CHUENG, K.; GOMES, J. G. Reconstituições da Vegetação e Inferências de Paleoclimas através da Utilização dos Indicadores Fitólitos e Isótopos de carbono – Exemplos de Estudos no Brasil. **Revista GeoNorte**, v. 1, p. 248 - 261, 2012b.

COE, H. H. G.; ALEXANDRE, A.; CARVALHO, C. N.; SANTOS, G. M.; SILVA, A. S.; SOUSA, L. O.F.; LEPSCH, I. F. Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): Evidence from soil phytolith assemblages. **Quaternary International**, v. 287, p. 63 - 72, 2013a.

COE, H. H. G.; GOMES, J. G.; CHUENG, K. 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, p. 1 - 21, 2013b.

COE, H. H. G.; OSTERRIETH, M.; HONAINÉ, M. F. Phytoliths and their Applications In: COE, H. H. G. e OSTERRIETH, M. (ed.). **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. 1 ed. New York: Nova Science, 2014a.

COE, H. H. G.; GOMES, J. G.; MACARIO, K. Understanding the Origin and Evolution of Soil Profiles in the São João River Basin, Rio de Janeiro, Brazil In: **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. 1 ed. New York: Nova Science Publishers, 2014b, v. 1, p. 171-192.



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. 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, p. 59 - 68, 2014c.

COE, H. H. G.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CHUENG, K. F. Applications of Phytolith Studies in a Geomorphic Sequence in the Espinhaço Mountains Range, Brazil In: **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. 1 ed. New York: Nova Science Publishers, 2014d, v. 1, p. 193-213.

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. Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga of Maricá, Rio De Janeiro, Brazil. **Quaternary International**, v. 388-89, p. 1 - 12, 2015a.

COE, H. H. G.; SEIXAS, A. P.; GOMES, J. G.; BARROS, L. F. P. Reconstituição Paleobiogeoclimática através de Fitólitos e Isótopos de Carbono no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Equador**, v. 4, p. 1439 - 1447, 2015b.

COE, H. H. G.; RICARDO, S. D. F.; SOUSA, L.O.F.; DIAS, R. R. Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 8, p. 9 - 21, 2017a.

COE, H. H. G.; SOUZA, R. C. C. L.; DUARTE, M. R.; RICARDO, S. D. F.; MACHADO, D. O. B. F.; MACARIO, K. C. D.; SILVA, E. P. Characterisation of phytoliths from the stratigraphic layers of the Sambaqui da Tarioba (Rio das Ostras, RJ, Brazil). **Flora**, v. 236-237, p. 1 - 8, 2017b.

COE, H. H. G.; RAMOS, Y. B. M.; SILVA, A. L. C.; GOMES, E.; SOUSA, L. O. F.; MACARIO, K. D.; DIAS, R. R. Paleovegetação da Ilha Grande (Rio de Janeiro) no Holoceno através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, p. 456 - 476, 2018.

DIAS, R. R. **Reconstituição paleoambiental de áreas de caatinga da Depressão Sertaneja Setentrional, através de fitólitos e isótopos de carbono**. 2017. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

GOMES, J. G. **Contribuição para a Compreensão da Gênese e Evolução de Solos na Bacia do São João, RJ, através de Análises Fitólíticas**. 2012. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

GOMES, J. G. **Reconstituições paleoambientais do uso do solo e da cobertura vegetal nas bacias dos rios Macacu e Caceribu, RJ, através de biomineralizações de sílica**. 2013. Dissertação (Geologia e Geofísica Marinha) - Universidade Federal Fluminense.

GOMES, J. G.; COE, H. H. G.; MACARIO, K. D. Uso do Bioindicador Fitólitos na Compreensão da Gênese de Solos na Bacia do Rio São João, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Tamoios (Online)**, v. 10, p. 128 - 150, 2014.

IRIARTE, J.; MITCHELL, J. P.; ROSTAIN, S.; FRANCIS, M. E.; JONES, H.; WATLING, J.; WHITNEY, B. S.; MCKEY, D. B. Fire-free land use in pre-1492 Amazonian savannas. **PNAS**, 2012. v. 109 (17) p. 6473-6478.

IRIARTE, J.; DICKAU, R. ¿Las culturas del maíz?: Arqueobotánica de las sociedades hidráulicas de las tierras bajas sudamericanas. **Amazônica**. v. 4 (1), p. 30-58, 2012.

IRIARTE, J.; SMITH, R.; GREGORIO de Souza, J.; MAYLE, F.; WHITNEY, B.S.; CÁRDENAS, M. L.; SINGARAYER, J.; CARSON, J. F.; ROY, S.; VALDES, P. Out of Amazonia: Late Holocene Climate Change and the Tupi-Guarani Trans-Continental Expansion. **The Holocene**, 2017. v. 27 (7), p. 967-975.

LEAL, M. G. **Uso de Silicofitólitos como Indicador Paleoambiental da Evolução da Paisagem na Ilha da Trindade**. 2017. Dissertação (Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais.

LEPSCH, I. F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos, 2011.

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.

LUCENA, U. P. **Reconstrução da paleovegetação e suas implicações para a dinâmica geomorfológica no Parque Estadual Veredas do Peruaçu, MG, através de indicadores fitolíticos**. 2014. Dissertação (Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais.

LUZ, D. L.; ZAVADOVSKI, C. E.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E. E. Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos no Brasil. **Terra e Didática**, v. 11, p. 1-13, 2014.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; CORRÊA, M. M.; MARTINS, G. C.; TORRADO, P. V. Pedogenetic processes in anthrosols with pre-tic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. **PLOS ONE** 12(5): e0178038 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178038>.

MADELLA, M. Physiology of silica deposition. Curso **7th International Meeting on Phytolith Research**, Mar del Plata, 2008.

MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v. 96, p. 253-260, 2005.

MADELLA, M.; LANCELLOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v. 275, p. 76-83, 2012.

MCMICHAEL, C. H.; PIPERNO, D.; NEVES, E. G.; BUSH, M. B.; ALMEIDA, F. O.; MONGELÓ, G.; EYJOLFSDOTTIR, M. B. Assembléias Fitolíticas ao longo de um gradiente de distúrbios humanos antigos na Amazônia Ocidental. **Frente Ecol. Evol.** 3, 2015: 141 doi: 10.3389 / fev.2015.00141

MCMICHAEL, C. H.; BUSH, M.; SILMAN, M. R.; PIPERNO, D.; RACZKA, M. F.; LOBATO, L. C.; ZIMMERMAN, M.; HAGEN, S.; PALACE, M. (2013). Historical fire and bamboo dynamics in western Amazonia. **Journal of Biogeography**. v. 40, p. 299-309.



MONTEIRO, M. R. **Paleoambientes indicados através da análise de fitólitos e $\delta^{13}\text{C}$ em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná.** Campo Mourão: Univ. Tecn. Fed. Paraná. 61p. (Departamento de Engenharia Ambiental, Monografia), 2012.

MONTEIRO, M. R., PAROLIN, M., CAXAMBU, M. G. Analysis of phytoliths assembly in topsoil and litter in two Cerrado fragments in urban area of Campo Mourão – Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 08, n. 04, p. 1256-1272, 2015.

MORCOTE-RÍOS, G.; BERNA, R.; RAZ, L. Phytoliths as a tool for archaeobotanical, palaeobotanical and palaeoecological studies in Amazonian palms. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 182, p. 348-360, 2016.

MOTOMURA, H.; FUJII, T.; SUSUKI, M. Silica deposition in relation to ageing of leaf tissues in *Sasa veichii* (Carriere) Rehder (Poaceae, Bambusoideae). **Annals of Botany**, v. 93, p. 235–248, 2004.

OLLENDORF, A. L. Archeological implications of a phytolith study at Tel Mique (Ekron), Israel. **J. Field Archaeol.**, v. 14, p. 453–463, 1987.

ONLINE LIBRARY. Portal de Periódicos. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/>> Acesso em: 12 nov. 2018.

PAISANI, J. C.; CALEGARI, M.; PONTELLI, M. E.; PESSENDA, L.; CORRÊA, A. C. B.; PAISANI, S. D. L.; RAITZ, E. The Role of Late Quaternary Climate Change in the Evolutionary Dynamic of Second-Order Paleovalley (Southern Brazil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, nº 1, 2013.

PAISANI, S. D. L.; PAISANI, J. C.; OSTERRIETH, M. L.; PONTELLI, M. E. Significado paleoambiental de fitólitos em registro pedoestratigráfico depaleocabeceira de drenagem, superfície de palmas, água doce, Sul do Brasil. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 429-445, 2016.

PAROLIN, M.; MONTEIRO, M. R.; COE, H. H. G.; COLAVITE, A. P. Considerações Paleoambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. SBGFA, p. 96 - 103, 2017.

PEREIRA, G. L. Identificação de fitólitos a partir de fragmentos de carvão. **Cadernos do LEPAARQ**, 7:13-14, 2010.

PESSENDA, L.; BUSO, A.; COHEN, M.; CALEGARI, M.; SCHIAVO, J.; FRANÇA, M.; LIMA, L. F.; GIANNINI, P.; OLIVEIRA, P.; ROSSETTI, D.; SIQUEIRA, G.; FRANCISQUINI, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; BENDASSOLLI, J.; MADELLA, M.; OSTERRIETH, M.; APARECIDA, C. F.; LOUISE, L. F. P.; BRUSTOLIN, L.; RASBOLD, G. Estudos Paleoambientais Interdisciplinares Dinâmica da Vegetação, do Ambiente Marinho e Inferências Climáticas Milenares a Atuais na Costa Norte do Espírito Santo, Brasil. **Ciência & Ambiente**, 49. 181, 2015.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths Analysis: an archaeological and geological perspective.** San Diego: Academic Press, 1988.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists.** New York: Altamira Press, 2006.

RAMOS, Y. B. M. **Estabelecimento de coleções de referência de assembleias fitolíticas modernas para fins de reconstituição paleoambiental da Planície Costeira de Maricá, Rio de Janeiro.** 2014. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

RAMOS, Y. B. M. **Reconstituição paleoambiental na Ilha Grande através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono.** 2016. Dissertação (Dinâmica dos Oceanos e da Terra) - Universidade Federal Fluminense.

RASBOLD, G. G.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M. G. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises multiproxy, Turvo, estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, n. 19, p. 315-324, 2016.

RESEARCH GATE. Portal de Periódicos. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/>> Acesso em: 12 nov. 2018.

RICARDO, S. D. F. **Caracterização de fitólitos de plantas e solos superficiais da Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional.** 2016. Curso (Biologia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

RICARDO, S. D. F.; COE, H. H. G.; DIAS, R. R.; SOUSA, L. O. F.; GOMES, E. Reference collection of plant phytoliths from the Caatinga biome, Northeast Brazil. **Flora**, v. 249, p. 1 - 8, 2018a.

RICARDO, S. D. F.; COE, H. H. G.; SOUSA, L.O.F.; DIAS, R. R.; GOMES, E. Produção de Fitólitos em Plantas Características da Caatinga In: **Botânica Aplicada**. 1 ed. Ponta Grossa: Atena, 2018b, p. 139-160.

ROCHA, A. P. **Reconstituição Paleobiogeoclimática da Depressão de Gouveia, Minas Gerais, durante o Pleistoceno Superior/ Holoceno, através da Análise de Fitólitos Extraídos de Sedimentos de uma Voçoroca.** 2014. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

SANTOS, C. P. **Reconstituição Paleoambiental da Planície Costeira de Maricá, RJ, com base em Bioindicadores de Sílica.** Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, 2018.

SEIXAS, A. P. **Identificação de Mudanças Ambientais no Quadrilátero Ferrífero, MG, através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono.** 2015. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

SEIXAS, A. P. **Condições Paleambientais associadas à ocorrência de stone-lines em Latossolo no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul-RJ.** 2017. Dissertação (Dinâmica dos Oceanos e da Terra) - Universidade Federal Fluminense.

SILVA, R. R. **Fitólitos em depósitos de colúvio no Quaternário Superior na Face Nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe /CE: significado paleoambiental.** 2016. Dissertação (Geografia) Universidade Federal de Pernambuco.



WATLING, J; SHOCK, M. P.; MONGELÓ, G. Z.; ALMEIDA, F. O.; KATER, T.; OLIVEIRA, P. E.; NEVES, E. G. (2018) Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as an early plant domestication and food production centre. *PLOS ONE* 13(7): e0199868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199868> .

WEBB, E. A.; LONGSTAFFE, F. J. The oxygen isotopic compositions of sílica phytoliths and plant water in grasses: Implications for the study of paleoclimate. ***Geochimica et Cosmochimica Acta***, v. 64, n. 5, p. 767-780, 2000.

WESOLOWSKI V., SOUZA S. M.F. M., REINHARD K. Grânulos de amido e fitólitos em cálculos dentários humanos: contribuição ao estudo do modo de vida e subsistência de grupos sambaquianos do litoral sul do Brasil. ***Rev. Mus. Arq. Etn.***, 17:191-210, 2007.

ZURRO, D., GARCIA-GRANERO, J. J., LANCELOTTI, C., MADELLA, M. Directions in current and future phytolith research. ***Journal of Archaeological Science***, v. 68, p. 112-117, 2016.

Recebido em 16 de Abril de 2019

Aprovado em 18 de Maio de 2019