
FITÓLITOS COMO PROXY PARA ESTUDOS PALEOAMBIENTAIS

David Oldack Barcelos Ferreira Machado

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.
david_barcelos1@hotmail.com

Archimedes Perez Filho

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.
archi@unicamp.br

Heloisa Helena Gomes Coe

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Formação de Professores.
heloisacoe@gmail.com

RESUMO

Fitólitos são partículas microscópicas de opala biogênica presentes entre e no interior de células de plantas vivas, que podem ser utilizados como um proxy capaz de fornecer aspectos da vegetação. Nesse trabalho é apresentada uma breve revisão teórica sobre a formação, produção e função dos fitólitos nas plantas. Também são demonstradas as principais morfologias encontradas em plantas, solos e sedimentos e sua atribuição taxonômica em áreas intertropicais. São explicados os índices fitolíticos e suas potenciais aplicações em estudos de reconstituição paleoambiental. Por último, é apresentada uma listagem com alguns trabalhos relevantes na temática realizados no Brasil desde 1966, que incluem estudos de assembleias modernas de solos, coleção de referência de plantas, reconstituição paleoambiental, arqueologia, geomorfologia e pedologia.

Palavras-chave: Fitólitos. Paleovegetação. Estudos paleoambientais.

PHYTOLITHS AS PROXY FOR ENVIRONMENTAL AND PALEOENVIRONMENTAL STUDIES

ABSTRACT

Phytoliths are microscopic particles of biogenic opal present between and inside living plant cells, which can be used as a proxy enable to provide aspects of vegetation. This paper presents a brief theoretical review on the formation, production, and function of phytoliths in plants. It also presents the main morphologies found in plants, soils and sediments and their taxonomic attribution of intertropical areas. Phytolith indices and their potential applications in paleoenvironmental reconstitution studies are explained. Finally, a list with some relevant works on the theme carried out in Brazil since 1966 is presented., which include studies of modern assemblages in solis, reference collection of plants, paleoenvironmental reconstrucion, archaeology, geomorphology and pedology.

Keywords: Phytoliths. Paleovegetation. Paleoenvironmental studies.

INTRODUÇÃO

A vegetação é um elemento fundamental para compreender as dinâmicas e funcionalidade de qualquer ambiente do planeta, sendo fruto de um equilíbrio sistêmico que se transforma através do tempo. As plantas possuem a capacidade de interferir nas ações erosivas e intempéricas que moldam o relevo, os solos, a hidrologia e o clima de uma determinada localidade e, conseqüentemente, em escala regional e, possivelmente, em escala global (SOUZA *et al.*, 2005; CHRISTOPHERSON, 2012).

Cox *et al.* (2019) ressaltam a importância das condições ambientais (solo, clima, disponibilidade hídrica etc.) no crescimento e desenvolvimento das plantas, onde o caráter estático da vegetação a torna um proxy biogeográfico para compreender os aspectos ecológicos de uma determinada área. Assim, a vegetação é tanto um reflexo das condições ambientais, quanto um fator que influencia tais condições.

Nesse sentido, existem diversos indicadores para se estudar a paleovegetação, dentre eles: pólen, macrocarvão, microcarvão, lignina, dendrocronologia e os fitólitos (SOUZA *et al.*, 2005). Dentre esses proxies os fitólitos demonstram uma série de vantagens pois, por serem constituídos de sílica, podem ser extraídos de solos/sedimentos e se preservam mesmo em ambientes oxidantes (COE e OSTERIETH, 2014).

Visto isso, o objetivo desse trabalho é realizar uma breve revisão teórica da aplicação dos fitólitos como registro da paleovegetação no Brasil, possibilitando a inferência de aspectos paleoambientais.

FITÓLITOS: UMA BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os fitólitos são partículas microscópicas (entre <60 a 100µm) de opala biogênica, que se formam através da precipitação de sílica amorfa oriunda da solução de ácido silícico [Si(OH)₄], entre e no interior de células vegetais das plantas vivas (PIPERNO, 1985).

São formados através do processo de biomineralização feito por mediação de uma matriz orgânica (as plantas), pelo qual os organismos vegetais constroem um molde ou estrutura onde são introduzidos íons e esses são induzidos a se precipitar,

posteriormente se cristalizam formando os fitólitos (ou silicofitólitos) (EPSTEIN, 2001; PIPERNO, 1988; COE e OSTERRIETH, 2014).

O ácido silícico [Si(OH)₄] presente no solo é absorvido pelas plantas juntamente com água e nutrientes pelo sistema radicular (raízes), quando o pH do solo encontra-se entre 2 e 9 (MOTOMURA *et al.*, 2004; PIPERNO, 2006; MA *et al.*, 2006; MADELLA, 2008; COE, 2009; COE e OSTERRIETH, 2014). A absorção pode ocorrer de duas formas: (1) ativa, quando as células vegetais da raiz funcionam como uma bomba ativa que reconhece a Si e a absorve propositalmente; ou (2) passiva, quando o canal da raiz, na forma de gradiente osmótico, permite que todos os elementos da solução sejam absorvidos pelo sistema radicular (MADELLA, 2008; COE, 2009)

Vale ainda ressaltar que existem fatores ambientais que também influenciam no grau de desenvolvimento e na produção de fitólitos pelas plantas, tais como: as condições climáticas; temperatura; taxas de evapotranspiração; disponibilidade hídrica; a natureza do solo; disponibilidade de sílica existentes; presença de óxido de ferro e de alumínio; pH do solo; herbivoria; dentre outros (JONES e HANDRECK, 1967; MCNAUGHTON *et al.*, 1985; EPSTEIN, 1994; MASSEY *et al.*, 2007; MOTOMURA *et al.*, 2002, 2004; HODSON *et al.*, 2005; MA *et al.*, 2011).

O papel exercido pelos fitólitos é responsável por múltiplas funções nos organismos vegetais, dentre elas: (a) suporte mecânico e estrutural para sustentar as células e órgãos vegetais; (b) proteção contra animais herbívoros e parasitas; (c) resistência e resiliência ao estresse hídrico; (d) neutralização de elementos tóxicos presentes no solo; (e) crescimento da planta; e (f) a hipótese da janela, que indica os fitólitos como catalizadores do processo de absorção da luz solar (AGARIE *et al.*, 1996; MADELLA, 2008; KEUTMANN *et al.*, 2015; MACHADO, 2022).

A produção de fitólitos realizada pelos organismos vegetais não é equivalente entre todas as espécies, existem grupos que são baixos produtores e outros que são altos produtores, por exemplo, as espécies da família Poaceae (gramíneas) são capazes de produzir até 20 vezes mais fitólitos do que as dicotiledôneas lenhosas (WEBB e LONGSTAFFE, 2000; COE, 2009; COE e OSTERRIETH, 2014).

Dentre os tecidos mais produtores de fitólitos destacam-se: (a) as folhas de gramíneas e lenhosas, por possuírem maior concentração de ácido monossilícico e

estarem sujeitas à maior evapotranspiração, ocorrendo então uma maior precipitação de sílica amorfa, além de possuírem um importante valor taxonômico; (b) no tronco de árvores e arbustos, onde registram o valor taxonômico do tecido; (c) nas raízes de gramíneas ou plantas lenhosas, porém esses fitólitos não fornecem informações de grande valor taxonômico (COE, 2009; COE e OSTERRIETH, 2014).

A produção dos fitólitos é múltipla e redundante, ou seja, uma única planta pode produzir diferentes morfotipos de fitólitos (multiplicidade) enquanto os mesmos tipos podem ser produzidos em diferentes tecidos vegetais e em plantas diferentes (redundância) (BREMONT *et al.*, 2005; MADELLA *et al.*, 2005; COE, 2009; NEUMANN *et al.*, 2019). Devido a esses fatores, a classificação dos fitólitos segue três abordagens:

- **Taxonômica:** a relação direta entre um tipo de fitólito e um táxon de planta.
- **Tipológica:** quando não há ligação direta entre um tipo de fitólito e um táxon;
- **Taxonômico-Tipológica:** se utiliza de informação taxonômica, quando conhecida, devido a sua utilidade, além dos tipos que pertencem a grupos específicos.

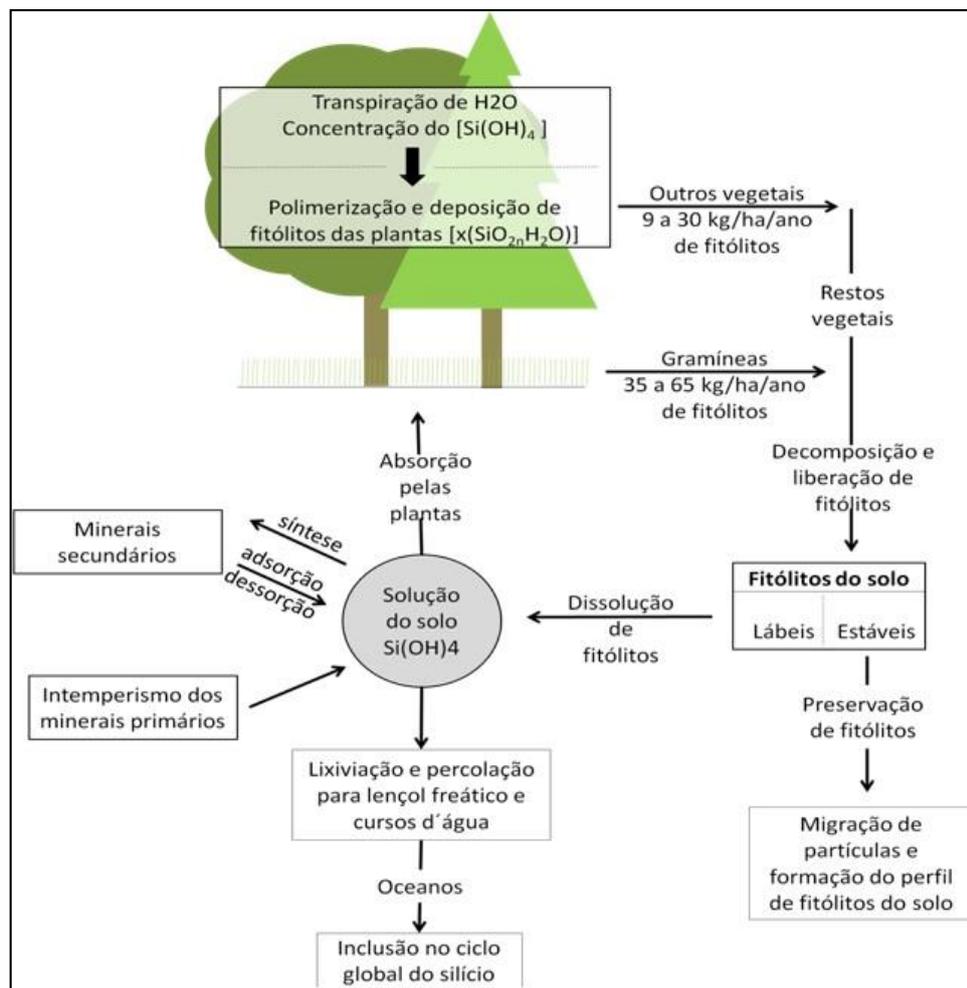
A classificação das tipologias de fitólitos é padronizada e nomeada de acordo com o *International Code of Phytolith Nomenclature* (ICPN), que apresenta duas versões a primeira, ICPN 1.0, de Madella *et al.* (2005), que posteriormente foi aprimorada para o ICPN 2.0 por Neumann *et al.* (2019). O objetivo do ICPN é facilitar a comparação entre as tipologias existentes, desenvolver a comunicação entre pesquisadores e produção de trabalhos científicos elaborados a partir dos padrões estabelecidos.

Além disso, o ICPN define que um tipo de fitólito observado em um determinado táxon, para ser considerado diagnóstico deve ser exclusivo desse táxon. Geograficamente, as tipologias encontradas são identificadas a partir da flora existente em uma determinada região ou local analisado. Porém, devido à multiplicidade e redundância, tal produção sem equívoco é frequentemente muito difícil de se observar e as generalizações devem ser evitadas (MADELLA *et al.*, 2005,

NEUMANN *et al.*, 2019). As tipologias existentes, sobretudo dos fitólitos comumente encontrados em regiões tropicais, estão demonstradas no Quadro 1.

Após a morte e/ou perda de partes das plantas com sua senescência, esses restos/resíduos vegetais se incorporam ao solo e, conforme a ação do tempo, a parte orgânica é decomposta se agregando como húmus e a parte mineral, como os fitólitos e a sílica amorfa, é agregada ao solo e torna-se sujeita ao ciclo da sílica (Figura 1) (LEPSCH, 2011, COE e OSTERRIETH, 2014).

Figura1 – Ciclo da sílica no solo



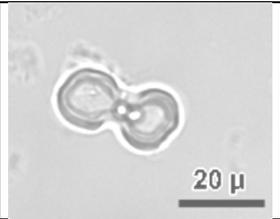
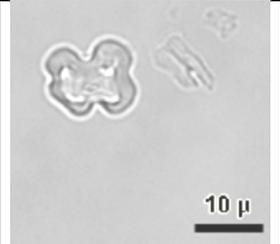
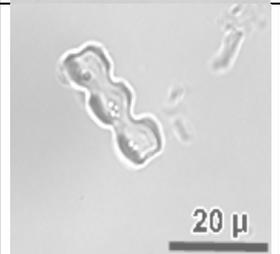
Fonte: Lepsch, 2011.

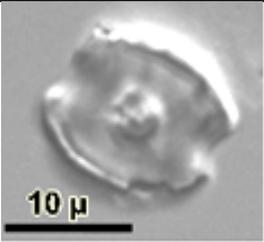
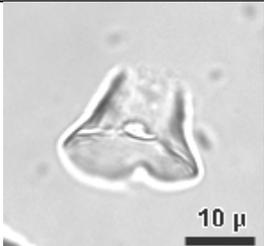
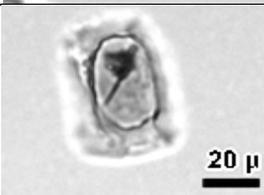
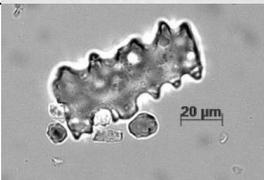
Ao permanecerem estáveis no solo, os fitólitos atuam como um registro microfóssil da vegetação, possibilitando estudos de reconstituição paleoambiental, através de inferências sobre o tipo de cobertura vegetal, escassez hídrica, condições

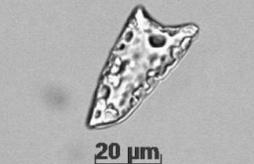
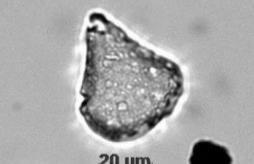
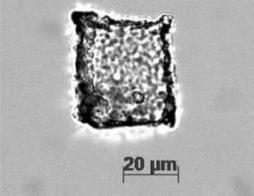
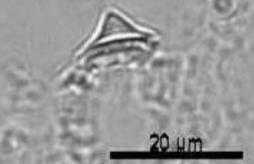
climáticas e outras características nas quais essas plantas se encontravam (COE e OSTERRIETH, 2014).

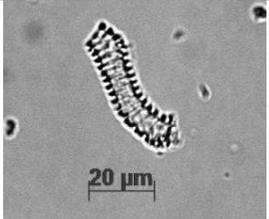
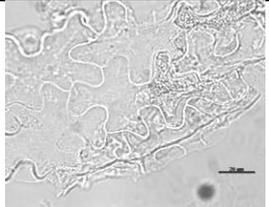
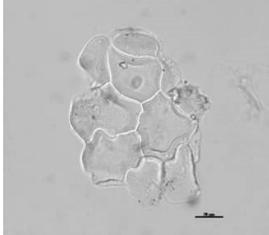
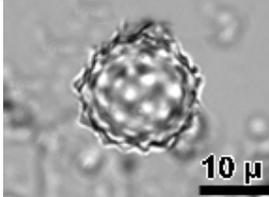
Além disso, também podem ser indicadores de pedogênese (relação evolução/degradação de solos, ciclo biogeoquímico da sílica nos solos, etc.); geomorfologia (processos erosivos); arqueologia (modo de vida, alimentação, formação de sítios arqueológicos, etc.); poluição ambiental (fitorremediação, metais pesados, etc.); botânica; agronomia; entre outros.

Quadro 1 – Principais morfotipos de fitólitos encontrados em regiões tropicais.

Morfotipo		Táxon ? Ambiente
BILOBATE (<i>Short Cell</i>)		<p style="text-align: center;">POACEAE</p> Principalmente Panicoideae C ₄ , também algumas Panicoideae C ₃ ; Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae Clima quente e úmido Áreas sombreadas, sob o dossel de florestas tropicais
CROSS (<i>Short Cell</i>)		<p style="text-align: center;">POACEAE</p> principalmente Panicoideae C ₄ , também algumas Panicoideae C ₃ ; Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae Clima quente e úmido Áreas sombreadas, sob o dossel de florestas tropicais
POLYLOBATE (<i>Short Cell</i>)		<p style="text-align: center;">POACEAE</p> principalmente Panicoideae (C ₄ e C ₃) Clima quente e úmido

<p>SADDLE (<i>Short Cell</i>)</p>		<p>POACEAEprincipalmente Chloridoideae C₄; algumas Bambusoideae C₃, Arundinoideae C₃ Regiões secas de baixa latitude e altitude ou condições do solo</p>
<p>RONDEL (<i>Short Cell</i>)</p>		<p>POACEAE principalmente Pooideae C₃, também Bambusoideae Regiões temperadas e frias ou regiões tropicais de altitude</p>
<p>TRAPEZOID (<i>Short Cell</i>)</p>		<p>POACEAEPooideae Regiões temperadas e frias ou regiões tropicais de altitude</p>
<p>ELONGATE DENTATE</p>		<p>Principalmente em POACEAE Células longas de todas as gramíneas</p>
<p>ELONGATE ENTIRE</p>		<p>Principalmente em POACEAE Células longas de todas as gramíneas</p>

ACUTE BULBOSUS		Principalmente em POACEAE (tricomos da epiderme); também em <i>Arecaceae</i> , e sementes de outras plantas
BULLIFORM FLABELLATE		POACEAE e CYPERACEAE (Células buliformes da epiderme)
BLOCKY		Principalmente em POACEAE (Células buliformes da epiderme)
PAPILLATE		CYPERACEAE
VOLCANIFORM		MUSACEAE

SPHEROID ORNATE		DICOTILEDÔNEAS LENHOSAS (troncos de árvores e arbustos tropicais)
TRACHEARY		DICOTILEDÔNEAS LENHOSAS (<u>vasos condutores</u>)
PUZZLE		DICOTILEDÔNEAS LENHOSAS (<u>epiderme</u>)
POLYHEDRAL		DICOTILEDÔNEAS LENHOSAS (<u>epiderme</u>)
SPHEROID ECHINATE		ARECACEAE (troncos e folhas)

Fontes: Adaptado de Coe (2009). Fotos: acervo do NePaleo.

FITÓLITOS COMO INDICADORES DE CONDIÇÕES PALEOAMBIENTAIS

Devido à multiplicidade e redundância da produção de fitólitos nos organismos vegetais, torna-se difícil atribuir valor taxonômico a um único fitólito. No entanto, é possível identificar grupos de tipologias com valores taxonômicos em termos de tipo de vegetação (BREMONT *et al.*, 2005; COE e OSTERRIETH, 2014).

Nesse sentido, as assembleias fitolíticas consistem em um número estatisticamente válido de tipologias de fitólitos e representa a produção qualitativa e quantitativa média de fitólitos por um determinado tipo de vegetação. A assembleia fitolítica depende da biomassa, da produção de fitólitos (compreendendo uma multiplicidade e redundância de formas) e de sua dissolução seletiva na serapilheira e no solo, ou seja, sua taxonomia (BREMONT *et al.*, 2005; COE e OSTERRIETH, 2014).

Portanto, baseando-se no princípio da uniformidade, quando determinada fitofisionomia atual produz uma assembleia fitolítica característica, ao encontrar essa assembleia em solos/sedimentos pretéritos, torna-se possível inferir a existência desse mesmo tipo de vegetação (BREMONT *et al.*, 2005; COE e OSTERRIETH, 2014).

Ao se conhecer uma assembleia fitolítica em solos/sedimentos é possível realizar inferências sobre o ambiente, que contribuem para tornar o proxy confiável para estudos paleoambientais (BEMOND, 2003; COE e OSTERRIETH, 2014; COE *et al.*, 2014, 2021), a partir do cálculo de índices fitolíticos como:

- **Densidade de cobertura arbórea (D/P)**

Indica a densidade da cobertura arbórea, calculando a proporção de fitólitos característicos de Dicotiledôneas Lenhosas em relação à soma de fitólitos característicos de Poaceae (COE *et al.*, 2014a). Foi proposto por Alexandre *et al.* (1997) e modificado por Bremond (2005), onde um valor elevado significa uma possível predominância de plantas lenhosas sobre gramíneas, caracterizando um ambiente mais arbóreo, característico de condições mais úmidas.

$$\mathbf{D/P} = \text{SPHEROID ORNATE} / (\text{todos os morfotipos de } \textit{short cells} + \text{ACUTE BULBOSUS} + \text{BULLIFORM FLABELLATE} + \text{BLOCKY})$$

Os resultados do índice são interpretados da seguinte forma: quanto maior o valor obtido, maior será a presença de árvores/arbustos na área e quanto menor o índice maior será o predomínio de gramíneas.

- **Densidade de cobertura de palmeiras em relação às gramíneas (Pa/P)**

Indica a densidade de cobertura de palmeiras (Arecaceae) em relação à cobertura por gramíneas (COE, 2009). Trata-se da totalidade de fitólitos de Arecaceae em relação ao somatório de fitólitos diagnósticos de Poaceae.

$$\mathbf{Pa/P} = \text{SPHEROID ECHINATE} / (\text{todos os morfotipos de } \textit{short cells} + \text{ACUTE BULBOSUS} + \text{BULLIFORM FLABELLATE} + \text{BLOCKY})$$

Os resultados desse índice funcionam como o índice D/P, refletindo o predomínio ou não das espécies de Arecaceae em relação às gramíneas. Além disso, quando relacionados ao índice IC% podem ser indicativos de maior ou menor temperatura, uma vez que as palmeiras são plantas que exigem uma temperatura mais elevada.

- **Aridez (Iph)**

Indica a adaptação da formação vegetal à aridez. Trata-se da proporção de fitólitos de gramíneas baixas de ciclo fotossintético em C4 (Chloridoideae, com ciclo de Hatch-Slack), relativamente ao somatório de fitólitos de gramíneas altas de ciclo fotossintético em C4 (sobretudo Panicoideae) (TWISS *et al.*, 1969; TWISS, 1992). As Chloridoideae e algumas Panicoideae anuais curtas toleram os extremos de temperatura elevada e a aridez melhor que as outras gramíneas (COE, 2009).

$$\mathbf{Iph(\%)} = \text{SADDLE} / (\text{SADDLE} + \text{CROSS} + \text{BILOBATE})$$

Os resultados com valores entre 40 e 45 podem distinguir a vegetação adaptada às condições áridas ou úmidas (Iph < 40-45% = pradarias com gramíneas altas; Iph > 40-45% = pradarias com gramíneas baixas) (BARBONI *et al.*, 1999)

Vale ressaltar que na ocorrência de subfamílias Pooideae ou Bambusoideae (Poaceae em C3 – Ciclo fotossintético de Calvin-Benson) o índice não deve ser aplicado, já que essas subfamílias também podem produzir o morfotipo SADDLE, o que pode promover alteração dos dados (BREMOND *et al.*, 2008).

- **Estresse hídrico (Bi%)**

Indicador de estresse hídrico. Trata-se da proporção dos morfotipos produzidos em células buliformes em relação ao somatório dos fitólitos de gramíneas (BREMOND *et al.*, 2005). Este índice indica a abundância relativa de fitólitos que se precipitam na epiderme das gramíneas quando elas são submetidas a um forte estresse hídrico (Coe *et al.*, 2014a).

$$\text{Bi\%} = \left[\frac{\text{BULLIFORM FLABELLATE} + \text{BLOCKY}}{\text{de short cells} + \text{ACUTE BULBOSUS} + \text{BULLIFORM FLABELLATE} + \text{BLOCKY}} \right] * 100$$

Compreende-se como estresse hídrico a influência de dois fatores principais: o aumento da evapotranspiração e/ou duração da desidratação, que podem levar a uma saturação da sílica presente nas células buliformes e sua precipitação (BREMOND, 2003). Assim, quanto maior a transpiração e/ou o estresse hídrico, maior será a quantidade de células buliformes produzidas.

Vale ressaltar que a proximidade com corpos hídricos ou locais que estão sujeitos a grandes variações do lençol freático, como arredores de lagos, rios ou áreas com topografia mais baixa que o entorno pode influenciar na produção das células buliformes, pois a vegetação está sujeita ao constante estresse hídrico promovido pela variação na disponibilidade de água. Outro fator que também pode influenciar em altos valores do índice Bi%, são as dinâmicas de deposição promovidas pelo sistema fluvial, como o observado por Rasbold (2016), Ramirez *et al.* (2019), Rasbold *et al.* (2020) e Machado (2022).

Machado (2022) indica 5 classes distintas para classificação do índice Bi%, sendo essas: Baixo (0 a 25%); Moderado-Baixo (25 a 40%); Moderado (40 a 60%); Moderado-Alto (60 a 75%); e Alto (75 a 100%).

- **Adaptação da vegetação em relação ao clima (Ic%)**

Indica a adaptação da formação vegetal a uma temperatura mínima e/ou à pressão parcial de Dióxido de Carbono (pCO₂) forte (zonas de altitude) (TWISS, 1992; BARBONI *et al.*, 2007; COE *et al.*, 2014a). Trata-se da proporção de fitólitos de gramíneas a ciclo fotossintético em C3 (Pooideae) em relação ao somatório dos fitólitos das subfamílias Pooideae, Chloridoideae e Panicoideae.

$$Ic\% = [(RONDEL + POLYLOBATE + TRAPEZOID) / (RONDEL + POLYLOBATE + TRAPEZOID + SADDLE + CROSS + BILOBATE)] * 100$$

Os resultados obtidos por esse índice possuem uma relação proporcionalmente inversa, ou seja, quanto maior o percentual, menor é a temperatura e quanto maior a temperatura menores serão os valores obtidos.

Vale ressaltar que, apesar de permitir inferências sobre condições paleoambientais, o proxy também possui fatores limitantes que devem ser considerados na interpretação, como: o tempo, que sujeita os fitólitos aos processos físico-químicos existentes no solo (ciclo da sílica, ações erosivas e intempéricas, bioturbação, etc.); e a profundidade, que otimiza a ação dos processos descritos no ciclo da sílica no solo e podem indicar maior fragilidade à ação do tempo (COE e OSTERRIETH, 2014).

ESTUDOS COM FITÓLITOS NO BRASIL

No Brasil os estudos que utilizam os fitólitos como indicador paleoambiental e outras aplicações diversas ainda são escassos quando observada a diversidade de fitofisionomias e extensão territorial. No entanto, vêm se tornando cada vez mais frequentes, sobretudo a partir de 2010, bem como o número de pesquisadores que têm se dedicado a essa temática (LUZ *et al.*, 2014; AGUIAR *et al.*, 2019), como observado no Quadro 2.

Quadro 2 – Trabalhos que utilizaram fitólitos no Brasil de 1996 a 2022

Estudos com fitólitos no Brasil que realizaram Reconstituição Paleoambiental			
Piperno e Becker (1996)	Calegari <i>et al.</i> (2015)	Coe <i>et al.</i> (2018)	Coe <i>et al.</i> (2021)
Alexandre <i>et al.</i> (1999)	Coe <i>et al.</i> (2015a)	Santos (2018)	Machado <i>et al.</i> (2021)
Borba-Roschel <i>et al.</i> (2006)	Coe <i>et al.</i> (2015b)	Chueng <i>et al.</i> (2019)	Costa <i>et al.</i> (2022)
Calegari (2008)	Lorente <i>et al.</i> (2015)	Dias <i>et al.</i> (2019)	Listo <i>et al.</i> (2022)
Coe (2009)	Monteiro <i>et al.</i> (2015)	Machado (2019)	Machado (2022)
Chueng (2012)	Pessenda <i>et al.</i> (2015)	Paisani <i>et al.</i> (2019)	Machado <i>et al.</i> (2022)
Coe <i>et al.</i> (2012)	Seixas (2015)	Rasbold <i>et al.</i> (2019)	Santos <i>et al.</i> (2022)
Gomes (2012)	Barros <i>et al.</i> (2016)	Ramirez <i>et al.</i> (2019)	-
Monteiro (2012)	Chueng (2016)	Seixas <i>et al.</i> (2019)	-
Alcântara-Santos (2013)	Paisani <i>et al.</i> (2016)	Chueng (2020)	-
Gomes (2013)	Ramos (2016)	Chueng <i>et al.</i> (2020a)	-
Paisani <i>et al.</i> (2013)	Rasbold (2016)	Chueng <i>et al.</i> (2020b)	-
Augustin <i>et al.</i> (2014)	Rasbold <i>et al.</i> (2016)	Chueng <i>et al.</i> (2020c)	-
Coe <i>et al.</i> (2014b)	Silva (2016)	Dias (2020)	-
Coe <i>et al.</i> (2014c)	Coe <i>et al.</i> (2017)	Gomes <i>et al.</i> (2020)	-
Coe <i>et al.</i> (2014d)	Dias (2017)	Mourelle <i>et al.</i> (2020)	-
Gomes <i>et al.</i> (2014)	Parolin <i>et al.</i> (2017)	Rasbold <i>et al.</i> (2020)	-
Lucena (2014)	Seixas (2017)	Salgado <i>et al.</i> (2020)	-
Rocha (2014)	Chueng <i>et al.</i> (2018)	Barroso <i>et al.</i> (2021)	-

fonte: Organizado pelos autores (2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho se propôs a disponibilizar à comunidade científica no Brasil uma breve revisão teórica sobre os fitólitos, enfatizando suas potencialidades e as limitações do proxy. Além disso, foi disponibilizada uma lista de referências do indicador para auxiliar aqueles que utilizem esse trabalho como ponto de partida.

O indicador ainda é pouco difundido no Brasil e, embora nos últimos anos o número de estudos tenha aumentado, ainda é necessário avançar nas pesquisas com fitólitos, sobretudo aquelas que investigam os cenários paleoambientais.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo nº 140550/2022-4, pelo fornecimento de bolsas e financiamento a pesquisa.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ao Instituto de Geociências (IG-UNICAMP) e ao Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGeo-UNICAMP), pelo fornecimento de subsídios, financiamento e auxílio à pesquisa.

Ao Laboratório de Geomorfologia e Análise Ambiental (LabGeomorfo) e ao Núcleo de Estudos Paleobiogeoclimáticos (NEPaleo), pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGARIE, S.; AGATA, W.; UCHIDA, H. KUBOTA, F.; KAUFMAN, P.B. Function of silica bodies in the epidermal system of rice (*Oryza sativa* L.): testing the window hypothesis. **J.ExpBot** 47:655–660, 1996. DOI: 10.1093/jxb/47.5.655
- AGUIAR, A.E.X.; COE, H.H.G.; MADELLA, M.; CRUZ, M.L.B. O uso do bioindicador fitólito em estudos ambientais e arqueológicos no Brasil. **Revista Geo Nordeste**, São Cristóvão, n. 1, p. 80-104, 2019. DOI: 10.33360/RGN.2318-2695.2019.i1p80-104
- ALCANTARA-SANTOS, J.C. **Paleogeografia e paleoambientes do Baixo Curso do rio Ivaí, PR**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, 83p., 2013.
- ALEXANDRE, A., MEUNIER, J.-D., LEZINE, A.-M., VINCENS, A., SCHWARTZ, D. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 136, 213-229, 1997
- ALEXANDRE A.; MEUNIER J.D.; MARIOTTI A.; SOUBIES F. Late Holocene Phytolith and Carbonisotope Record from a Latosol at Salitre, SouthCentral Brazil. **Quaternary Research**, 51:187-194, 1999. DOI: 10.1006/qres.1998.2027.
- 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. **Geomorphologie (Paris)**, 4, 355 - 376, 2014. DOI: 10.4000/geomorphologie.10794
- BARBONI, D., BONNEFILLE, R., ALEXANDRE, A., MEUNIER, J.D. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 152, 87–100, 1999. DOI: 10.1016/S0031-0182(99)00045-0
- BARBONI, D., BREMOND, L., BONNEFILLE, R. Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 246, 454–470, 2007. DOI: 10.1016/j.palaeo.2006.10.012
- BARROS, L.F.P.; COE, H.H.G.; SEIXAS, A.P.; MAGALHÃES, A.P.; MACARIO, K.D.C. 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, 2016. DOI: 10.1016/j.jsames.2016.02.004
- BARROSO, F.R.G.; GOMES, V.S.; CARVALHO, C.E.; LEDRU, M.P.; FAVIER, C.; ARAÚJO, F.S.; BREMOND, L. Phytoliths from soil surfaces and water reservoirs of the Brazilian semi-arid Caatinga. **Journal of South American Earth Sciences**, 108, 103180, 2021. DOI: 10.1016/j.jsames.2021.103180
- BORBA-ROSCHER M.; ALEXANDRE A.; VARAJÃO A.F.D.C.; MEUNIER J.-D.; VARAJÃO C.A.C.; COLIN F. Phytoliths as Indicators of Pedogenesis and Paleoenvironmental Changes in the Brazilian Cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, 88(1):172- 176, 2006. DOI: 10.1016/j.gexplo.2005.08.032
- BREMOND, L. **Calibration Desfonctions De Transfert Entre Assemblages Phytolithiques, Structures Des Végétations Et Variables Bioclimatiquesactuelles, Pourl'intégration De Ladynamiquedes Biomesherbacés Dans Lesmodèles De Végétation**. Thèse de Doctoraten Géosciences de l'environnement, direction J. GUIOT, Université Aix-Marseille III, 2003.
- BREMOND, L., ALEXANDRE, A., PEYRON, O., GUIOT, J. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. **Journal of Biogeography** 32, 311-327, 2005.
- BREMOND, L., ALEXANDRE, A.; WOOLLER, M.J.; HÉLY, C.; WILLIAMSON, D.; SCHÄFER, P.A.; MAJULE, A.; GUIOT, J. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. **Global and Planetary Change**, v.61, p.209–224, 2008. DOI : 10.1016/j.gloplacha.2007.08.016
- CALEGARI M.R. **Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo. 259p., 2008.
- CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; BUSO JR, A.A.; OSTERRIETH, M.L.; LORENTE, F.L.; PESSEDA, 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**. 6, 01-10, 2015. DOI: 10.5380/abequa.v6i1.36426
- CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas – Uma Introdução à Geografia Física**. Tradução Francisco Eliseu Aquino *et al.*, Porto Alegre: Brookman, 7ªed., 2012.
- 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**. Monografia em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.
- CHUENG, K.F. **Reconstituição paleoclimática da geodinâmica quaternária na Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono**. Dissertação de Mestrado em Dinâmica da Terra e dos Oceanos, Universidade Federal Fluminense, 2016.

CHUENG, K.F. **Reconstituição Paleobiogeoclimática de Áreas Cársticas, Arqueológicas e Turfeiras na Serra do Espinhaço Meridional Através de Biomineralizações de Sílica**. Tese de Doutorado em Dinâmica da Terra e dos Oceanos. Universidade Federal Fluminense, 2020

CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A.M.C.; RICARDO, S.D.F. Reconstituição Paleambiental da Área Arqueológica de Serra Negra, Face Leste do Espinhaço Meridional (Minas Gerais), através da análise de fitólitos. **Revista Brasileira de Geografia Física** 11, 2260 - 2275, 2018. DOI: 10.26848/rbgf.v11.07.p2260-2275

CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; MACARIO, K.D.; RICARDO, S.D.F.; VASCONCELOS, A.M.C. Landscape paleodynamics in siliciclastic domains with the use of phytoliths, sponge spicules and carbon isotopes: The case of southern Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. **Journal of South America Earth Sciences**, 95, 102232, 2019. DOI: 10.1016/j.jsames.2019.102232

CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; SOUZA, R.C.C.L.; FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A.M.C.; RICARDO, S.D.F.; BANDEIRA, D.R.; DIAS, R.R.; MACHADO, D.O.B.F. Reconstituição paleoambiental em sítios arqueológicos através da análise de fitólitos: estudos de caso no Brasil. In: **Geografia Física: Estudos Teóricos e Aplicados**. 1 ed.: Atena Editora, 84-97, 2020a.

CHUENG, K.F., COE, H.H.G., SANTOS, C.P., FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A.M.C., RICARDO, S.D.F., MACHADO, D.O.B.F. Utilização de fitólitos para inferências paleoambientais na área arqueológica de Serra Negra, Minas Gerais. In: **Arqueologia e Patrimônio: Experiências, Métodos e Teorias**. 1 ed. São Raimundo Nonato: Laboratório de Preservação Patrimonial da Universidade Federal do Vale do São Francisco, v.1, 8-22, 2020b.

CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; VASCONCELOS, A.M.C.; SANCHEZ, E.A.M.; CAIXETA, A.C.M. Reconstituição paleobiogeoclimática da gruta Pau-Ferro, Minas Gerais, Brasil, através da análise de fitólitos. In: **Paleontologia Contemporânea: Diferentes Técnicas e Análises**. 1 ed.: Atena Editora, 86-100, 2020c.

COE, H.H.G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário**. Tese de Doutorado: UFF, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 301p. 2009.

COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M. **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. Nova Science Publishers, New York, v.1. 280p, 2014.

COE, H.H.G.; CHUENG, K.F.; 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, 60 - 76, 2012. DOI: 10.12957/tamoios.2012.3197

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: 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 Publishers, 171-192, 2014b.

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**, 415, 59 - 68, 2014c. DOI: 10.1016/j.palaeo.2014.01.009

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: 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 Publishers, 193-213, 2014d.
- 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**, 388- 89, 1 - 12, 2015a. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.10.071
- 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**, 4, 1439 – 1447, 2015b.
- 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**, 236-237, 1 - 8, 2017. DOI: 10.1016/j.flora.2017.09.007
- 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**, 11, 456-476, 2018. DOI: 10.26848/rbgf.v11.2.p456-476
- COE, H.H.G.; BANDEIRA, D.R.; RASBOLD, G.G.; SOUZA, R.C.C.L.; CHUENG, K.F.; DIAS, R.R.; MACHADO, D.O.B.F.; FERREIRA, J.; VOSS, C.V.; SÁ, J.C. Reconstituição paleoambiental através de fitólitos no Sambaqui Casa de Pedra, São Francisco do Sul-SC, Brasil. In: **Paleontologia Contemporânea: Diferentes Técnicas e Análises**. 1 ed.: Atena Editora, 61-85, 2020c.
- COE, H.H.G.; SILVA, A.L.C.; SEIXAS, A.P.; LEPSCH, I.F.; PAROLIN, M.; MACARIO, K. Gênese de linhas de pedra através de inferências paleoambientais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Sudeste do Brasil. In: **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2**. 1 ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 84-102, 2021. DOI: 10.22533/at.ed.6152114049
- COSTA, C.R.; HORAK-TERRA, I.; COE, H.H.G.; CHUENG, K.F.; MACHADO, D.O.B.F.; CAMARGO, P.B.; BARRAL, U.M.; TASSINARI, D.; SILVA, A.C. Multi-proxy analysis of a Holocene records from a high-altitude tropical PEATLAND in the Serra do Espinhaço Meridional, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 116, 103795, 2022. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.103795
- COX, C.B.; MOORE, P.D.; LADLE, R.J. **Biogeografia: Uma Abordagem Ecológica e Evolucionária**. Eds. MALHADO, A.C.M.; LADLE, R.J.; SILVA, T.L.P. Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, Rio de Janeiro, 9ªed, 340p, 2019.
- DIAS, R.R. **Reconstituição paleoambiental de áreas de caatinga da Depressão Sertaneja Setentrional, através de fitólitos e isótopos de carbono**. Monografia em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2017.
- DIAS, R.R. **Reconstituição Paleobiogeoclimática e Evolução Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraúna, MG, através de Biomineralizações de Sílica e Isótopos Estáveis**. Dissertação de Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra - Universidade Federal Fluminense, 2020.
- DIAS, R.R.; COE, H.H.G.; RICARDO, S.D.F.; VASCONCELOS, A.M.C.; SOUSA, L.O.F. Reconstituição paleoambiental de dunas vegetadas na caatinga, em Aracati, Ceará, através de biomineralizações de sílica. **Revista GEOUECE** 08, 193 - 208, 2019.
- EPSTEIN, E. **The anomaly of silicon in plant biology**. Proc. Natl. Acad. Sci. 91, 11-17. 1994.
- EPSTEIN, E. **Silicon in plants: Facts vs. concepts**. Datnoff, Snyder, Korndorfer (Eds). Silicon in Agriculture. Elsevier 1-16, 2001.

- GOMES, J.G. **Contribuição para a Compreensão da Gênese e Evolução de Solos na Bacia do São João, RJ, através de Análises Fitolíticas**. Monografia em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.
- 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**. Dissertação de Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, 2013.
- GOMES, J.G. **Reconstituição Paleoambiental do Litoral Norte Fluminense, durante o Quaternário, através de Biomineralizações de Sílica**. Tese de Doutorado em Dinâmica da Terra e dos Oceanos, Universidade Federal Fluminense, 2020.
- 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)**, 10, 128 - 150, 2014. DOI: 10.12957/tamoios.2014.10145
- GOMES, J.G.; COE, H.H.G.; FIGUEIREDO JR, A.G.; MACARIO, K.C.D.; GOMES, E. Análise paleoambiental da porção leste da Baía de Guanabara, RJ, Brasil, através de biomineralizações de sílica. In: **Ciências Exatas e da Terra: Exploração e Qualificação de Diferentes Tecnologias 2.1** ed.: Atena Editora, 70-85, 2020.
- HODSON M. J., WHITE, P. J., MEAD, A., BROADLEY, M. R. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. **Annals of Botany** 96, 1027–1046, 2005. DOI: 10.1093/aob/mci255
- JONES, L. H. P., HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, 19, 107-149, 1967. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60734-8
- KEUTMANN, I.C.; MELZER, B.; SEIDEL, R. THOMANN, R. e SPECK, T. Review: The Functions of Phytoliths in land plants. In: HAMM, C. (org.) **Evolution of Lightweight Structures. Vol. 6**. Kiel: Springer, p. 157 – 169, 2015.
- LEPSCH, I.F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos, 2011.
- LISTO, D.G.S.; BALDER, R.F.T.M.; CORRÊA, A.C.B.; RAMOS, D.A.M.C.; CALEGARI, M.R. Weathering pits as a geochronometer of environmental changes in the State of Pernambuco, Northeastern Brazil. **Quaternary International**, (In Press) 2022. DOI: 10.1016/j.quaint.2022.10.004
- 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. 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, 2015. DOI: 10.5380/abequa.v6i1.36239
- LUCENA, U.P. **Reconstrução da paleovegetação e suas implicações para a dinâmica geomorfológica no Parque Estadual Veredas do Peruaçu, MG, através de indicadores fitolíticos**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- LUZ, L.D.; KALINOYSKI, E.C.Z.; PAUROLIN, M.; SOUZA FILHO, E.E. Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terra e didática**, V.11, p. 52 – 64, 2014. DOI: 10.20396/td.v11i1.8637310
- MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y. e YANO, M. A silicon transporter in rice. **Nature**, v.440, p.688–691, 2006. DOI: 10.1038/nature04590
- MA,,J. F., YAMAJI, N., MITANI-UENO, N. Transport of silicon from roots to panicles in plants. Proc. **Jpn. Acad. Ser. B** 87,377-385, 2011. DOI: 10.2183/pjab.87.377

- MACHADO, D.O.B.F. **Reconstituição Paleambiental da região das Cabeceiras do Rio Araçuaí, Borda Leste do Espinhaço Meridional (MG), através da análise de fitólitos.** Monografia em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2019.
- MACHADO, D.O.B.F. **Reconstituição paleoambiental em baixos terraços fluviais no médio curso do Rio Grande (BA), por meio de biomineralizações de sílica e luminescência opticamente estimulada (LOE).** Dissertação (Geografia) - Universidade Estadual de Campinas, 2022.
- MACHADO, D.O.B.F.; CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; SILVA, A.C.; COSTA, C.R. Paleoenvironmental reconstruction of the headwaters of the Preto River, Minas Gerais state, Brazil, through siliceous bioindicators. **Journal of South American Earth Sciences**, 108, 103349, 2021. DOI: 10.1016/j.jsames.2021.103349
- MACHADO, D.O.B.F.; COE, H.H.G.; BANDEIRA, D.R.; SOUZA, R.; RASBOLD, G.G.; CHUENG, K.F.; DIAS, R.R.; FERREIRA, J.; VIEIRA, C.V.; DE SÁ, J.C. Palaeoenvironmental reconstruction through phytolith analysis in the Casa de Pedra shell mound archaeological site, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brazil. **Vegetation History and Archaeobotany**, (In Press), 2022. DOI: 10.1007/s00334-022-00899-6
- MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International code for phytolith nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v. 96, p. 253 – 260, 2005. DOI: 10.1093/aob/mci172
- MADELLA, M. Physiology of silica deposition. **Curso ministrado no 7th International Meeting on Phytolith Research**, Mar del Plata, 2008.
- MASSEY, F. P., ENNOS, A.R., HARTLEY, S. E. Herbivore specific induction of silica-based plant defences. **Oecologia**, 152, 677–683, 2007.
- MCNAUGHTON, S. J., TARRANTS, J. L., MCNAUGHTON, M. M., DAVIS, R. H. Silica as a defense against herbivory and a growth promoter in African grasses. **Ecology** 66, 528-535, 1985. DOI: 10.2307/1940401
- MONTEIRO, M.R. **Paleoambientes indicados através da análise de fitólitos e $\delta^{13}C$ em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná.** Monografia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 61p., 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**, 08(04), 1256-1272, 2015. DOI: 10.5935/1984-2295.20150066
- MOTOMURA, H., MITA, N., SUZUKI M. Silica accumulation in long-lived leaves of *Sasa veitchii* (Carriére) Rehder (Poaceae: Bambusoideae). **Annals of Botany** 90, 149-152, 2002. DOI: 10.1093/aob/mcf148
- MOTOMURA, H., FUJII, T., SUSUKI, M. Silica deposition in relation to ageing of leaf tissues in *Sasa veitchii* (Carriere) Rehder (Poaceae, Bambusoideae). **Annals of Botany** 93, 235–248, 2004. DOI: 10.1093/aob/mch034
- MOURELLE, D.; DEL PUERTO, L.; PEREZ, L.; BEGAMINO, L.; GARCÍA-RODRIGUEZ, F. Late Pleistocene and Late Holocene environment and climate in the campos region of southeastern South America inferred from phytolith, diatom and geochemical data. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 543, 109586, 2020. DOI: 10.1016/j.palaeo.2020.109586
- NEUMANN, K.; STRÖMBERG, C.A.; BALL, T.; ALBERT, R.M.; VRYDAGS, L.; CUMMINGS, L.S. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. **Annals of Botany** 124: 189–199, 2019. DOI: 10.1093/aob/mcz064.

- PAISANI, J.C.; CALEGARI, M.R.; 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**, 14(1), 2013.
- PAISANI, S.D.L.; PAISANI, J.C.; OSTERRIETH, M.L.; PONTELLI, M.E. Significado paleoambiental de fitólitos em registro pedoestratigráfico de paleocabeceira de drenagem, superfície de Palmas, Água Doce, Sul do Brasil. **Geociências**, 35(3), 429-445, 2016.
- PAISANI, J.C.; PAISANI, S.D.L.; LIMA, S.; RIBEIRO, F.J.; PONTELLI, M.E.; FUJITA, R.H. Paleoenvironmental dynamics of low-order paleovalleys in the Late Quaternary – Palmas/Çaçador Summit Surface – Southern Brazil. **Catena**. 182, 104171, 2019. DOI: 10.1016/j.catena.2019.104171
- PAROLIN, M.; MONTEIRO, M.R.; COE, H.H.G.; COLAVITE, A.P. Considerações Paleambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. SBGFA, 96 - 103, 2017. DOI: 10.11606/rdg.v0ispe.132609
- PESSENDA, L.; BUSO, A.; COHEN, M.; CALEGARI, M.R.; 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.G. Estudos Paleambientais 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. Phytolith analysis and tropical paleo-eology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in new world plant domesticates and wild species. **Review of Palynology**, v.45, n. 3 – 4, 1985. DOI: 10.1016/0034-6667(85)90002-8
- 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.
- PIPERNO D.R.; BECKER P. Vegetational History of a Site in the Central Amazon Basin Derived from Phytolith and Charcoal Records from Natural Soils. **Quaternary Research**, 45(2):202-209, 1996. DOI: 10.1006/qres.1996.0020
- RAMIREZ, A.I.A.; RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; STEVANUX, J.C. Phytoliths and seeds in fluvial island paleoenvironment reconstruction (interaction with pollen analysis). **Journal of South America Earth Sciences**, 89, 30-38, 2019. DOI: 10.1016/j.jsames.2018.10.011
- RAMOS, Y.B.M. **Reconstituição paleoambiental na Ilha Grande através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono**. Dissertação de Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, 2016.
- RASBOLD, G.G. **Espículas de esponjas de água doce e fitólitos como indicadores das características paleoambientais desde o Pleistoceno Tardio das ilhas Bandeirantes e Grande, alto rio Paraná**. Dissertação de Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos e Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 63 p., 2016.
- 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**, 19, 315-324, 2016. DOI: 10.4072/rbp.2016.2.13
- RASBOLD, G.G.; MCGLUE, M.M.; STEVANUX, J.C.; PAROLIN, M.; SILVA, A.; BERGIER, I. Sponge spicule and phytolith evidence for Late Quaternary environmental changes in the tropical Pantanal wetlands of western Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 518, 119-133, 2019. DOI: 10.1016/j.palaeo.2019.01.015

- RASBOLD, G.G.; STEVANUX, J.C.; PAROLIN, M.; LELI, I.T.; LUZ, L.D.; BRITO, H.D. Phytoliths indicate environmental changes correlated with facies analysis in a paleo island-lake, Upper Paraná River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 99, 102513, 2020. DOI: 10.1016/j.jsames.2020.102513
- 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**. Monografia em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2014.
- SALGADO, E.T.; MIZUSAKI, A.M.P.; CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; PACHECO E.; CARDOSO, A.; BAUERMANN, S.G. Holocene palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of a native ecosystem on the coastal plain of southern Brazil through multi-proxy analysis. **Journal of South American Earth Sciences**, 106, 1-16, 2020. DOI: 10.1016/j.jsames.2020.103067
- SANTOS, C.P. **Reconstituição Paleoambiental da Planície Costeira de Maricá, RJ, com base em Bioindicadores de Sílica**. Tese de doutorado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, 2018.
- SANTOS, C.P.; COE, H.H.G.; SILVA, A.L.C.; OSTERRIETH, M.L.; PAROLIN, M.; SOUZA, R.C.C.L.; RIBEIRO, F.C.P.; MACARIO, K.C.D.; NETO, J.A.B.; CADENA, S. Paleoenvironmental evolution during the Holocene of the coastal plain of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil, through silica biomineralizations, **Journal of South American Earth Sciences**, (In Press), 2022. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.104098
- SEIXAS, A.P. **Identificação de Mudanças Ambientais no Quadrilátero Ferrífero, MG, através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono**. Monografia em Geografia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2015.
- SEIXAS, A.P. **Condições Paleoambientais associadas à ocorrência de stone-lines em Latossolo no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul-RJ**. Dissertação de Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, 2017.
- SEIXAS, A.P.; COE, H.H.G.; SILVA, A.L.C.; LEPSCH, I.F.; PAROLIN, M.; MACARIO, K.D. Reconstituição das condições paleoambientais relacionadas à ocorrência de linhas de pedra em Latossolo no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista da ANPEGE**, 15, 29-53, 2019. DOI: 10.5418/RA2019.1528.0002
- SILVA, R.R. **Fitólitos em depósitos de colúvio no Quaternário Superior na Face Nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe /CE: significado paleoambiental**. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; DE OLIVEIRA, P.E. **Quaternário do Brasil**. Holos Editora, Ribeirão Preto, 1ªEd., 378p., 2005.
- TWISS, C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths, In: Rapp Jr., G., Mulholland, S.C. (Eds.), **Phytolith Systematics: Emerging Issues**. Springer, New York, 350p, 1992. DOI:10.1007/978-1-4899-1155-1_6
- TWISS, P. C., SUESS, E., SMITH, R. M. Morphological classification of grass phytoliths. **Proced. Soil Sci. Soc. Am.** 33, 109 – 115, 1969. DOI: 10.2136/sssaj1969.03615995003300010030x
- WEBB, E.A.; LONGSTAFFE, F.J. The oxygen isotopic compositions of silica phytoliths and plant water in grasses: implications for the study of paleoclimate. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.64, n.5, p.767-780, 2000. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00374-9