

## **Análise de Fitólitos Aplicada a Reconstituição Paleoambiental de um Latossolo no Oeste do Paraná**

Carolina Glaeser Benincá <sup>1</sup>

Altair Bennert <sup>2</sup>

Patrícia Antonio De Oliveira Perdoná <sup>3</sup>

Bruno Aparecido da Silva <sup>4</sup>

Ericson Hideki Hayakawa <sup>5</sup>

Marcia Regina Calegari <sup>6</sup>

### **INTRODUÇÃO**

Os solos são grandes arquivos naturais, armazenando em sua matriz as evidências das condições climáticas, geológicas e geomorfológicas, tanto locais quanto regionais, que influenciaram sua formação ao longo do tempo. Nesse sentido, podem ser vistos como portadores de memórias ambientais, produtos e testemunhas da evolução da paisagem (Bigarella et al., 1994; Targulian; Goryachkin, 2004; Janzen, 2016).

Marcadores biológicos como fitólitos, grãos de pólen, espículas de esponjas e diatomáceas podem ser empregados em estudos paleoambientais, dependendo de sua disponibilidade no ambiente, a fim de conhecer a dinâmica das fitofisionomias e condições climáticas correlatas (Salgado-Laboriau, 2007). Em fator da diversa composição dos solos e depósitos, técnicas e métodos particulares são aplicados para realizar a extração das informações (*proxy*) agregadas no solo. Dentre estes indicadores, a análise de fitólitos destaca-se no Brasil e em paisagens tropicais (Luz et al., 2015).

Os fitólitos são microrrestos vegetais preservados em solos e sedimentos. Sua formação ocorre dentro e entre as células do tecido vegetal de certas plantas, a partir da absorção, deposição e acúmulo da sílica (Piperno, 2006). Com a morte da planta e a decomposição do material orgânico, os fitólitos são liberados e podem ser incorporados aos solos e sedimentos, compondo a assembleia fóssil na matriz mineral do solo, presentes sobretudo na fração silte (Wilding et al., 1977; Runge, 1999; Strömberg *et al.*, 2018).

Por vezes, em solos minerais não hidromórficos e/ou em zonas de baixa disponibilidade hídrica, os fitólitos podem ser o único marcador biológico disponível para

---

<sup>1</sup> Ma. em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste [carolgbeninca@gmail.com](mailto:carolgbeninca@gmail.com);

<sup>2</sup> Me. em Geografia pela Unioeste [bennert.geo@gmail.com](mailto:bennert.geo@gmail.com);

<sup>3</sup> Dra. em Geografia pela Unioeste [patricia.oliveira2401@hotmail.com](mailto:patricia.oliveira2401@hotmail.com);

<sup>4</sup> Dr. em Geografia pela Unioeste [brunoborchertesilva@gmail.com](mailto:brunoborchertesilva@gmail.com).

<sup>5</sup> Prof. Dr. em Sensoriamento Remoto Curso de Geografia, Unioeste [ericson.geo@gmail.com](mailto:ericson.geo@gmail.com);

<sup>6</sup> Prof<sup>a</sup> orientadora, Dra. Em Agronomia, Curso de Geografia, Unioeste [marciareg\\_calegari@hotmail.com](mailto:marciareg_calegari@hotmail.com).

análise paleoambiental (Dress et al., 1989). Sua análise é segura, pois possuem morfologias diagnósticas com valor taxonômico, permitindo a inferência de sua planta de origem em ordem de família, subfamília e *taxa* (Twiss, 1992), além disso, apresentam durabilidade (resistência) e abundância, fatores que permitem a comparação com espécies vivas e a identificação de famílias de plantas (Piperno, 1988).

Aliado aos fitólitos, soma-se a análise das assinaturas isotópicas de carbono  $\delta^{13}\text{C}$  do solo. Esta técnica permite diferenciar os momentos em que no ambiente predominavam plantas de ciclos fotossintéticos distintos, podendo ser  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$  (árvores e gramíneas), respectivamente (Vogel, 1993; Pessenda *et al.*, 2005).

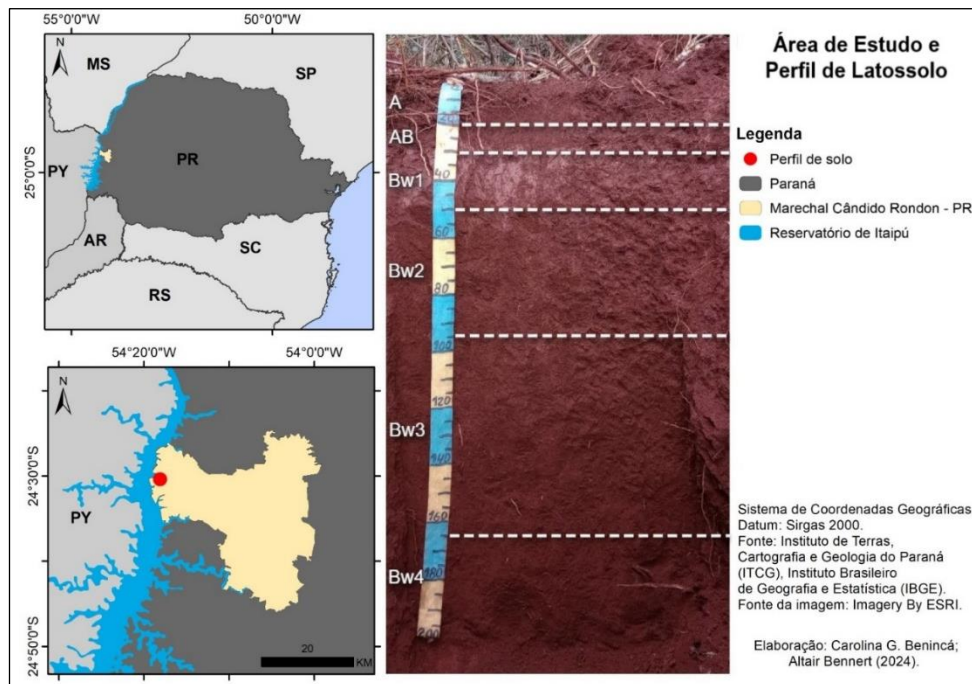
A composição dos isótopos de carbono é distinta nas plantas devido aos diferentes processos fotossintéticos que operam, sendo que os ciclos  $\text{C}_3$  expressam valores  $\delta^{13}\text{C}$  mais negativos (-32 a -22‰) em comparação aos ciclos  $\text{C}_4$ , ( $\delta^{13}\text{C}$  -9 a -17‰) (Pessenda *et al.*, 2005). Desta forma, a análise isotópica permite inferir as condições paleoclimáticas, especialmente de umidade, sob as quais estas plantas se desenvolveram.

O Oeste do Paraná é caracterizado pela ocorrência de solos bem desenvolvidos pedogeneticamente sob os quais estava presente a Floresta Estacional Semidecidual. Sua instalação está relacionada a um incremento da umidade durante o Meghalayano, antes, ocorriam condições mais secas desfavoráveis. O presente estudo investiga a trajetória ambiental de um Latossolo Vermelho, característico da região, a partir da análise da assembleia de fitólitos e dos valores isotópicos  $\delta^{13}\text{C}$ , buscando aportar mais informações para o entendimento da abrangência espacial destes períodos ambientais distintos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### Área de Estudo

A área de estudo encontra-se na região Oeste do Paraná, distrito de Porto Mendes, município de Marechal Cândido Rondon, na margem esquerda do reservatório da Hidrelétrica de Itaipú, em área administrada pela Associação Técnica das Indústrias de Mandioca do Paraná (ATIMOP) (Figura 1). O perfil está localizado nas coordenadas - 24.826676 S e -53.990646 W, em torno de 240m de altitude.



**Figura 1** – Localização da área de estudo e perfil de Latossolo. Fonte: Autores.

A geologia local é caracterizada pelos basaltos do grupo Serra Geral, Formação Cascavel e Membro Toledo (Arioli; Licht, 2013). O relevo apresenta dissecação média-baixa, topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”, ocorrendo no limite entre os Planaltos de São Francisco e de Foz do Iguaçu (Oka-Fiori; Santos, 2008).

Os solos, no geral, são argilosos, profundos e bem desenvolvidos pedogeneticamente, ocorrendo frequentemente associações entre Latossolos e Nitossolos (Bheling; Santos, 2008). O clima da região é o subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com chuvas concentradas no verão e raras geadas no inverno (Nitsche et al. 2019). A vegetação original da região era a Floresta Estacional Semidecidual, presente em fragmentos remanescentes na atualidade (Maack, 1981; Roderjan, 2002).

A partir da construção da Hidroelétrica de Itaipú e da formação de seu reservatório, as margens do lago passaram a ser parte de uma área de proteção permanente, que foi reflorestada com espécies nativas há aproximadamente vinte anos. O perfil situa-se na margem da mata plantada, no limite com a área de cultivo de mandioca.

### Análise Fitolítica

As etapas de extração e identificação das assembleias de fitólitos foram conduzidas no Laboratório Multiusuário de Estudos da Dinâmica Ambiental – LEDA (Unioeste *campus* Marechal Cândido Rondon), a fim de conhecer e comparar a composição das assembleias fitolíticas. Foram processadas amostras de solo coletadas em campo sistematicamente a cada 10 cm, da base até o topo de cada perfil.

Extração de fitólitos do solo e serrapilheira: Para a extração dos fitólitos do solo, foram realizados os procedimentos descritos por Calegari *et al.* (2013) (método 2) para eliminação da matéria orgânica do solo, dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e remoção da argila. Os fitólitos da serrapilheira foram extraídos conforme procedimentos modificados de Campos e Labouriau (1966) e Piperno (2006). Ao final, os fitólitos foram separados por flutuação conforme descrito por Madella *et al.* (2005).

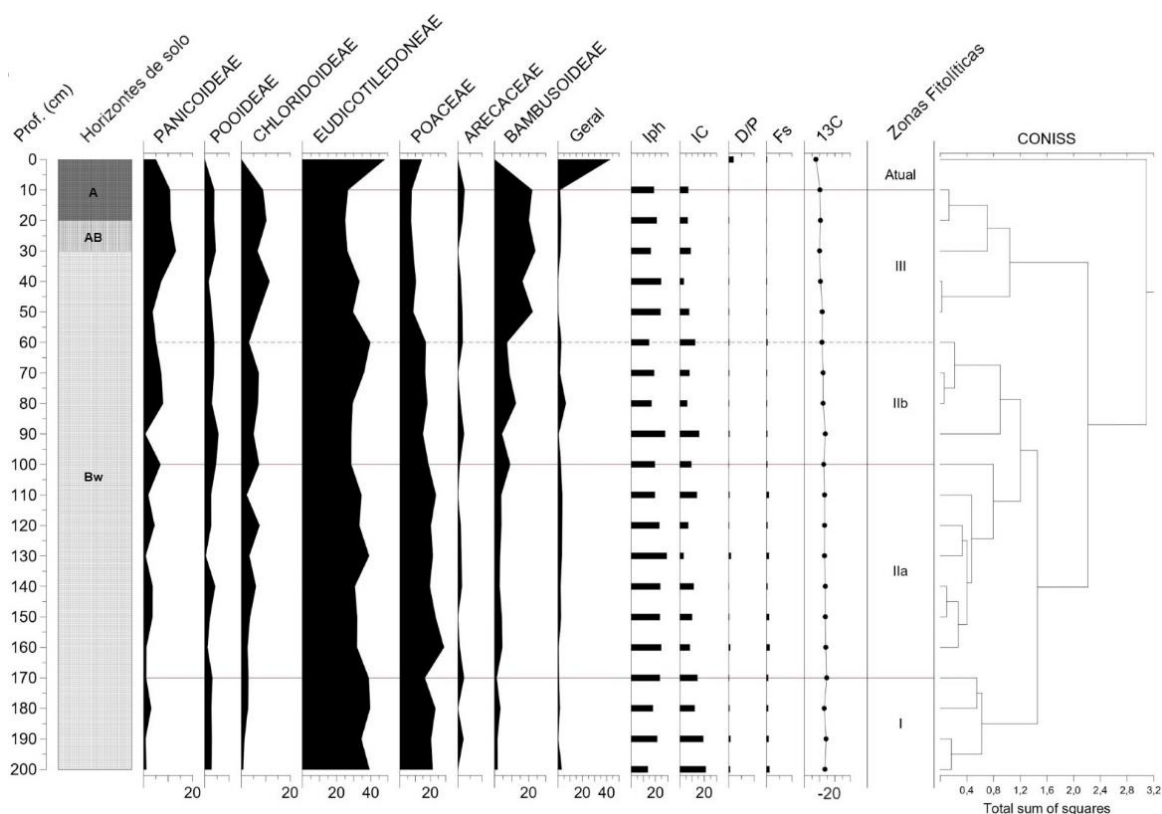
Identificação, contagem e classificação das assembleias de fitólitos: Após a extração, o resíduo remanescente foi posto em lâminas para microscopia. Em um microscópio petrográfico com magnificação de 400x, foram contados no mínimo 200 morfotipos de fitólitos com significado taxonômico em cada lâmina. A classificação foi realizada conforme o *International Code for Phytolith Nomenclature – ICPN 2.0* (ICPT *et al.*, 2019), e agrupados de acordo com o significado taxonômico de cada grupo baseado em autores como Mulholland (1989), Twiss (1992), Alexandre *et al.* (1997; 1999), Runge (1999), e nas coleções de referência das principais fitofisionomias brasileiras, disponíveis no LEDA (Calegari, *et al.*, 2014; Cecchet, 2012; Felipe, 2012; Raitz, 2012; Calegari, *et al.*, 2017; Souza, 2019; Mozer, 2021). A fim de investigar a trajetória evolutiva da vegetação e possíveis mudanças climáticas na área de estudo, foram calculados os seguintes índices fitolíticos: Índice de Adaptação a Aridez (Iph) (Diester-Hass *et al.*, 1973); Índice Climático (Ic) (Twiss, 1992); Índice de Cobertura Arbórea (D/P), (Alexandre *et al.*, 1997; Bremond *et al.* 2005); Índice de Stress Hídrico (Fs) (Bremond *et al.* 2005).

### Análise Isotópica

Inicialmente, o solo seco ao ar, macerado e peneirado (malha de 0,53 mm) no LEDA. Após, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Isótopos Estáveis, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Neste, foi realizada a determinação dos valores  $\delta^{13}\text{C}$  em um analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A assembleia fitolítica do solo apresentou variações em sua composição e distribuição ao longo do perfil. A produção de fitólitos pela vegetação atual, representada pelas amostras de serrapilheira e 0-10cm, é caracterizada pela presença abundante de morfotipos da família Bambusoideae (SADDLE COLLAPSED), de Eudicotiledonea lenhosas (SPHEROID ORNATE e SPHEROID PSILATE) e gramíneas (BILOBATE e SADDLE) (Figura 1). A mata presente sob o perfil (referência moderna), representada pelas amostras de 0-10cm apresenta valor isotópico  $\delta^{13}\text{C}$  de -25,10‰.



**Figura 2** - Distribuição dos fitólitos no perfil de Latossolo e zonas fitolíticas. Fonte: Autores.

A análise de agrupamento hierárquico, permitiu identificar 3 zonas fitolíticas no perfil. Essas zonas assinalam mudanças na composição das assembleias, em respostas a momentos ambientais distintos.

A Zona I, corresponde ao horizonte Bw4 (200-170cm de profundidade). Nela, a alta frequências dos morfotipos BLOCKY, BULLIFORM FLABELATE e ELONGATE ENTIRE indica a coexistência de gramíneas (Poaceae geral) e plantas arbustivas e arbóreas

(morfotipos TABULAR) (Eudicotiledoneae) no ambiente. Os valores altos dos índices fitolíticos D/p, Iph e Fs (1,18, 59,7% e 2, respectivamente) apontam para a ocorrência de períodos mais secos. O sinal isotópico  $\delta^{13}\text{C}$  médio é de 18,3‰, assinalando a predominância de plantas  $\text{C}_4$  no ambiente.

A Zona Fitolítica II abrange os horizontes Bw3 e Bw2 (170 – 60cm) e foi subdividida em IIa e IIb. Em IIa observa-se um incremento dos morfotipos de Poaceae e das subfamílias Panicoid (BILOBATE, TRAPEZIFORM) e Bambusoid (SADDLE COLLALPSED). Esta zona é caracterizada por uma vegetação de plantas adaptadas a condições mais secas, corroborada pelos valores isotópicos  $\delta^{13}\text{C}$  entre -17,9‰. O topo desta zona assinala um incremento de umidade expressa em uma vegetação mista com maior participação de plantas  $\text{C}_3$  (>40%).

A Zona IIb é relativa a um ambiente com maior disponibilidade de umidade, verificado pelos valores dos índices fitolíticos Fs (0,60) e Ic (28,7), e um expressivo aumento dos fitólitos de Eudicotiledoneae, Panicoideae e Bambusoideae em detrimento dos fitólitos de Poaceae geral. Nota-se esta melhora nas condições de umidade no ambiente também pelo empobrecimento isotópico da MOS, que apresenta valor  $\delta^{13}\text{C}$  médio de 20,5‰.

A Zona Fitolítica III ocorre nos horizontes Bw1, AB e A (60-0cm). Destaca-se por apresentar aumento dos morfotipos de fitólitos de Bambusoid, Chloridoideae (SADDLE) e Panicoid (BILOBATE, CRENATE, TRAPEZIFORM) e redução significativa dos fitólitos de Poaceae geral. Simultaneamente, ocorre o aumento de fitólitos indicativos de floresta como SPHEROID PSILATE e SPHEROID ORNATE, TABULAR e TABULAR ELONGATE (Eudicotiledoneae). O Ic médio de 19,42 e os valores isotópicos  $\delta^{13}\text{C}$  de -23,7 refletem um ambiente de vegetação mista, com predomínio de plantas  $\text{C}_3$ , adaptadas a condições quentes, semelhantes as atuais.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os dados obtidos neste estudo assinalaram a ocorrência de mudança de estrutura de vegetação (fitofisionomia) ao longo do tempo, assinalando ao menos três momentos ambientais distintos. Os momentos mais antigos (evidenciados na base do perfil analisado), apontam para a ocorrência de uma vegetação mais aberta e adaptada a condições mais secas como a de um cerrado. Os cenários seguintes assinalam uma

transição gradual para um ambiente de condições mais úmidas e com maior cobertura arbórea, refletindo a instalação da Floresta Estacional Semidecidual.

**Palavras-chave:** Fitólitos; Reconstituição Paleoambiental; Latossolo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Associação Técnica das Indústrias de Mandioca do Oeste do Paraná – ATIMOP e à Professora Dra. Vanda Pietrowski do Departamento de Agronomia da Unioeste *campus* Marechal C. Rondon – PR, por facilitarem o acesso à área de estudos e pelo apoio na realização do trabalho de campo. À Fundação Araucária pelo financiamento da pesquisa (convênio nº 341/2022) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

## **REFERÊNCIAS**

ARIOLI, E. E.; LICHT, O. A. B. **O Grupo Serra Geral no Estado do Paraná:** mapeamento geológico das cartas 1:250.000 de Guaíra, Cascavel, Campo Mourão, Foz do Iguaçu, Guaraniaçu, Guarapuava, Pato Branco e Clevelândia. Curitiba: MINEROPAR, 2 v, 2013.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; DOS SANTOS, G. F.; PASSOS, E.; & SUGUIO, K. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais.** Florianópolis: Ed. da UFSC. 1994.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos (ed.). **Mapa de solos Estado do Paraná:** legenda atualizada. Embrapa Solos: Rio de Janeiro: Embrapa Florestas, Colombo, 2008. 74 p.

BREMOND, L. ALEXANDRE, A.; HÉLY, C. e 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.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X. L.; MACIAS, F.; OSTERRIETH, M. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, v. 287, 2013.

CALEGARI, M. R.; RAITZ, E.; MENEGAZZI, C. P.; CECCHET, F. A.; FELIPE EWALD, P. L. L.; BRUSTOLIN, L. T. **Phytolith signature from grassland and araucaria forest in Southern Brazil.** In: Coe, H. H. C.; Osterrieth, M. L. (Editores) *Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)*, 2014.

CECCHET, F. A. **Conjunto de Fitólitos dos Estratos Inferiores da Floresta Ombrófila Densa: Subsídios Para Reconstrução Paleoambiental.** [Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Geografia], Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon: 2012.

DIESTER-HAAS, L., SCHRADER, H.-J.; THIEDE, J. (1973) Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa. Meteor Forschungsergebnisse: Reihe C, Geologie und Geophysik, 16. pp. 19-66.

DRESS, L. R.; WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; SENKAYI, A. L. Silica in Soils: Quartz and Disordered Silica Polymorphs. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in Soil Environments.** 2. ed. [S. l.]: SSSA Books, 1989. n. 1., 913-974 p.

JANZEN, H. H. The Soil Remembers. **Soil Science Society of America Journal**, v.80, p.1429-1432, 2016.

LUZ, L. D.; KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLINA, M.; FILHO, E. E. S. **Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil.** Terrae Didática. 11 (1). 2015 (p. 52-64).

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** 2ªed. Livraria José Olímpio. 1981.

MADELLA, M.; ALEXANDRE A.; BALL T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v.96 (2), p. 253-260, 2005.

MOZER, J. H. **Coleção de Referência de Fitólitos e Reconstituição Paleoambiental da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Parque Estadual Carlos Botelho - SP.** [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Campus Marechal Cândido Rondon, 2021.

MULHOLLAND, S. C. Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns. **J. of Archeological Science**, v.16, p.489-511, 1989.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; PINTO, L. F. F. Atlas do Estado do Paraná. Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina. 2019.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A.; RIBEIRO, A. S.; ARAVENA, R. BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M. P.; SCHEELYBERT, R. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. **Quartenário do Brasil.** Ribeirão Preto: Holos, 2005.

PIPERNO, D. **Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists.** 2006.

PIPERNO, D. R. **Phytolith Analysis: An Archeological and Geological Perspective.** San Diego. 1988.

RAITZ, E. **Coleção de referência de silicofitólitos da flora do Sudoeste do Paraná: subsídios para estudos paleoambientais.** [Dissertação de Mestrado - PPG em Geografia] Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Campus Francisco Beltrão, 2012.



RODERJAN, C. V. et al. As unidades fitogeográficas do estado do paraná, brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 24, p. 75–92, 2002.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in central Africa. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.107, p.23–53, 1999.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Crêterios e técnicas para o Quaternário**. Editora Blucher, 2006.

STR MBERG, C. A. E.; DUNN, R. R.; CRIF , C.; HARRIS, E. B.; Phytoliths in paleoecology: Analytical considerations, current use and future directions. *Vertebr. Paleobiol. Paleoanthropology* 235 – 287, 2018.

SOUZA, E. DE. **Reconstitu o Paleambiental a partir do sinal fitol tico na ESEC Caetetus – Gália (SP)**. [Disserta o de Mestrado - PPG em Geografia.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Campus Marechal C ndido Rondon: 2019.

TARGULIAN, V. O.; GORYACHKIN, S. V. Soil memory: Types of record, carriers, hierarchy and diversity. **Revista Mexicana de Ciencias Geol gicas**, v.21, p. 1-8, 2004.

TWISS, P. C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: **Phytolith Systematics: Emerging Issues**. [s.l: s.n.]. p. 113–128. 1992.

VOGEL, J. C. Variability of carbon isotope fractionation during photosynthesis. *in* EHLERINGER, J. R., HALL, A. E., AND FARQUHAR, G. D., eds. **Stable isotopes and plant carbon-water relations**. Academic Press, San Diego, 1993

WILDING, L.P., SMECK, N.E.; DREES, L. R. Silica in soils: quartz, cristobalite, tridymite and opal. In: DIXON, J.B.; WEED, S. B. (Ed.). *Mineral in soil environments*. 1. ed. Madison: **Soil Science Society of America**, 1977. p. 471–542.