



45 mm

RECONSTRUÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FORMAÇÃO DE HORIZONTES HÚMICOS EM LATOSSOLOS POR ANÁLISE FITOLÍTICA

Marcia Regina Calegari ⁽¹⁾; Pablo Vidal Torrado ⁽²⁾; Marco Madella ⁽³⁾ Luiz Carlos R. Pessenda ⁽⁴⁾; Flávio Adriano Marques ⁽⁵⁾
marciareg_calegari@hotmail.com

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Mal Cdo Rondon(PR); ² - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, Piracicaba (SP); ³ Consejo Superior de Investigación Científica – CSIC-ICREA – Barcelona ⁴ Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP – Piracicaba (SP); ⁵ Embrapa Solos/UEP Recife
Rua Pernambuco, 1777- CEP 85960-000, Caixa Postal 91, Marechal Cândido Rondon (PR)

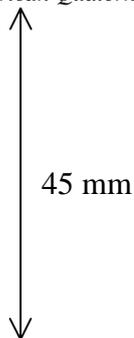
Resumo – Os fitólitos podem permanecer por longos períodos de tempo no solo e podem ajudar na investigação sobre a reconstrução de paisagens e de climas pretéritos. A reconstrução das condições paleoambientais que contribuíram na definição dos processos pedogenéticos, entrada e estabilização da matéria orgânica no horizonte húmico hiperdesenvolvido de dois Latossolos foi realizada a partir da análise de fitólitos encontrados no solo associada aos dados de carbono e à datações ¹⁴C da matéria orgânica do solo (MOS). Foram estudados perfis representativos dos atuais biomas da Floresta Ombrófila Mista e do Cerrado, localizados em Guarapuava (PR) e Salinas (MG), respectivamente. A partir dos resultados isotópicos e fitolíticos constatou-se que esses perfis passaram por pequenas mudanças na composição da vegetação desde o Holoceno médio. A gênese da MOS que caracteriza o horizonte A húmico dos perfis estudados se deu predominantemente sob vegetação com mistura de C₃ e C₄, com forte contribuição de plantas C₄ em Guarapuava e C₃ em Salinas.

Palavras-chave: opala biogênica; análise fitolítica; reconstrução paleoclimática

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, destacam-se os Latossolos com horizonte A húmico (Lh), hiperdesenvolvido (>100 cm de espessura) com quantidades elevadas de carbono orgânico. Atualmente, esses solos são encontrados em zonas Tropical e Subtropical úmida, nas partes elevadas em paisagens geomorfologicamente mais antigas e evoluídas das regiões Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil. Em geral, apresentam características morfológicas e mineralógicas que permitem inferir que esses solos passaram por vários ciclos pedogenéticos de diferentes intensidades e duração sendo, provavelmente, solos poligenéticos (Muggler, 1988).

Hipoteticamente, os Lh corresponderiam a *paleossolos relictual* e o horizonte húmico teria se espessado sob condições ambientais distintas das atuais, provavelmente sob clima mais frio e seco (Lepsch e Buol, 1986). Os estudos de variações climáticas no Brasil têm sido realizados por meio de análises polínicas em material extraído de lagos e turfeiras; e em solos bem drenados por meio de análises isotópicas. Mais recentemente a análise fitolítica tem sido



introduzida para estudos de reconstrução como um marcador ecológico em solos bem drenados e ambiente oxidante onde os grãos de pólen tendem a ser escassos.

Fitólitos ou opala biogênica ou silicofitólitos são corpos de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) produzidos por plantas ao longo dos seus ciclo vegetativos. Muitas famílias de plantas depositam parte da sílica solúvel (H_4SiO_4) que absorvem do solo, polimerizando-o e gerando esses corpos (Piperno, 2006) que possuem dimensões semelhantes às da fração areia muito fina (0,10 - 0,05 mm) e silte (0,05 - 0,002 mm) do solo. Os fitólitos podem permanecer por longos períodos de tempo no solo, onde podem prover importantes informações sobre subfamílias de Poaceae, bem como de Dicotiledoneae e densidade de cobertura arbórea. Poucos são os trabalhos que consideraram a assembléia de fitólitos na reconstrução dos cenários paleoambientais do Brasil. Considerando os resultados obtidos por esses trabalhos e todas as vantagens já descritas na literatura para considera-se que uso de fitólitos como marcador ecológico poderá corroborar no estudo das hipóteses paleoclimáticas para a gênese do horizonte húmico em Latossolos. Desta forma, objetiva-se neste estudo: (i) empregar a análise de assembléia de fitólitos para investigar o caráter relictual dos Latossolos com horizonte A húmico encontrados no Brasil, nas regiões Sul e Sudeste (ii) identificar as variações na vegetação e no clima e definir as condições ambientais que vigoraram na época da formação do horizonte húmico e que podem ter contribuído na incorporação e estabilização da matéria orgânica na superfície desse solo, induzindo o grande espessamento e escurecimento do horizonte A.

2. MATERIAL E MÉTODOS

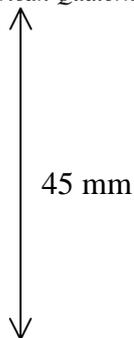
2.1 Área de Estudo

Foram selecionados dois perfis representativos de áreas de ocorrência dos Latossolos com horizonte húmico no Brasil, localizados em condições de clima e vegetação natural atuais muito distintas nos municípios de Salinas (Minas Gerais) sob vegetação de Cerrado e Guarapuava (Paraná) sob mata de araucárias. As principais características fisiográficas das áreas de estudo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Localização e aspectos fisiográficos das áreas de estudo

	Guarapuava (PR)	Salinas (MG)
SiBCS (2006)	LBw típico húmico (B rúbrico)	LVd húmico
Localização	25°21'09.1"S 51°28'01.3"W	16°16'16.3"S 42°58'50.5"W
Altitude (m.)	1079	908
Clima (Koëppen)	Cfb	Aw
Vegetação Natural	Floresta Ombrófila Mista/	Cerrado <i>Sensu Stricto</i> /
Litologia	Basalto Formação Serra Geral	Filitos e Xistos – Grupo Macaúbas/Bambuí
Relevo Regional	Suave ondulado à ondulado	Plano a suave ondulado
Mesorregião Geográfica	Centro Sul Paranaense	Norte de Minas Gerais

Clima: Cfb: Temperado úmido; Aw: Tropical Chuvoso, clima de savana com inverno seco;



2.2 Análises Químicas e Físicas de Rotina

Foram coletados todos os horizontes identificados e submetidos às análises químicas (ataque sulfúrico, pH, teores trocáveis de Ca, Mg, Na, K, Al), para classificação dos solos, conforme Embrapa (1997) e análises granulométricas (método do densímetro) e de densidade do solo- Ds, todas realizadas nos Laboratório do Departamento de Ciência do Solo – ESALQ/USP.

2.3 Matéria Orgânica do Solo

A análise de $\delta^{13}\text{C}$ para determinação da composição isotópica e do teor de carbono orgânico total (COT) no material estudado foi realizada no Laboratório de Isótopos Estáveis - CENA/USP, em um espectrômetro de massa acoplado a um analisador elementar e os resultados expressos em g. kg^{-1} de peso seco e os da composição isotópica são apresentados em unidade de δ (‰), determinada em relação ao padrão internacional PDB e referem-se à média de duas determinações, com precisão de $\pm 0,2\%$. A datação da matéria orgânica dos solos (MOS) de Salinas foi realizada em fragmentos de carvão no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, e do perfil de Guarapuava extraiu-se a humina e a datou por AMS (Espectrometria de Massa Acoplada a Acelerador de Partículas) no Center for Applied Isotopes Studies, na Universidade da Geórgia. A idade ^{14}C é expressa em anos AP (antes do presente), normalizada a $-25,0\%$ (PDB), sendo considerado como presente o ano de 1950.

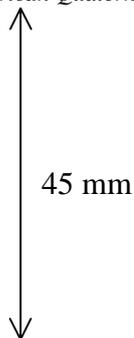
2.4 Amostragem e extração de fitólitos

A extração dos fitólitos foi realizada meio das etapas do Método 2 apresentado em Calegari (2008), e Madella et al., (1998) em material amostrado em intervalo de 10 cm x 10cm por. Foram usados 4 gramas de solo (fração TFSA < 2mm) de cada amostra. As observações foram realizadas em um microscópio com magnificação de 400x. Os fitólitos foram nomeados conforme International Code for Phytolith Nomenclature (Madella et al., 2005) e agrupados de acordo com significado taxonômico de cada grupo. As assembléias de fitólitos de cada perfil foram calculadas em função da porcentagem da soma dos fitólitos classificados. Para interpretação das condições do ambiente do solo foram calculados os seguintes índices fitolíticos: Adaptação a Aridez – Iph, Densidade Arbórea - D/P e Climático – Ic.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em média foram contados e identificados 200 fitólitos com significado taxonômico por lâmina dos perfis de Guarapuava e Salinas. O perfil de Guarapuava é argiloso ($>600\text{g.kg}^{-1}$), ácido (pH entre 4.6 -5.4) e os teores de COT diminuem em profundidade de 41,4 a 5,7 g kg^{-1} . A Ds aumenta de 0,76 (0-35 cm) no topo à 1,16 t.m^{-3} a 200cm. Apresenta mineralogia gibbissítica-oxídica com Ki e Kr variando, respectivamente, entre 0,46-0,72 e 0,47-0,55. A assembléia de fitólitos é marcada pelo predomínio de morfotipos de Poaceae (82 \pm 9,8%).

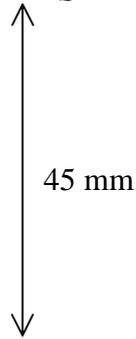
Os resultados da análise de Agrupamento Hierárquico e a análise de Componentes Principais – PCA aplicadas aos dados fitolíticos indicaram três zonas fitolíticas da base para o



topo do perfil do perfil de Guarapuava, assim caracterizadas: **Zona I** (antes de 4.922±59 anos Cal. AP): corresponde ao horizonte Bw. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ se mantêm em torno de -21‰. Na base da trincheira se constatou frequência significativa do morfotipo *crater shaped* da família Araucariaceae (12%) e a ocorrência de *spheric-with-sockets*, produzido por espécies da família Pinaceae. Todos os índices fitolíticos apresentam redução nos valores, indicando uma diminuição da densidade arbórea, sobretudo os valores de D/P na passagem para a **Zona II** (4.922±59 anos Cal. AP – 1.715±29 anos Cal. AP) que abrange os horizontes de transição BA, AB e A3. A assembléia fitolítica nesta zona apresentou escassez de morfotipos *crater shaped* (Araucariaceae) e o aumento de morfotipos indicadores de Panicoideae (24%) e Cloridoideae (13%). A soma dos típicos morfotipos de Poaceae representou 89% dos classificados. Os valores para o Iph variam de 17 a 42%, o IC de 17% à 15% da base para o topo e o índice D/P, assinalando um período mais quente e mais seco do que aquele da Zona I. Foram constatados fitólitos amarelados (6,2%) e microfragmentos de carvão (<20µm), sugerindo a possível ocorrência de paleoincêndios. A MOS dessa zona apresentou enriquecimento isotópico $\delta^{13}\text{C}$ de -3,4‰ em relação a Zona I. Na **Zona III** (depois de 1715±29 a. Cal A.P) constatou-se aumento na ordem de 10% para os fitólitos de Poaceae (68%), sobretudo do morfotipo bulliforme (13%) em comparação a Zona II. Os morfotipos de Dicotiledoneae e de Palmeira diminuem para 16% e 13%, respectivamente. Não foram constatadas variações no sinal isotópico. A quantidade de *bilobates* quebrados é elevada. Os índices fitolíticos e o sinal isotópico sugerem uma tendência de abertura da vegetação. A camada superficial (0-10 cm) caracteriza o sinal isotópico e fitolítico da FOM, vegetação atual. Apresenta empobrecimento isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ de -23,12‰ para -25,02‰ e uma assembléia fitolítica composta por 59% de Poaceae, destes 20% são de Panicoideae, 14,2% de Dicotiledoneae e 16,6% de Palmeiras. Destaca-se de Araucariaceae (12%), e a presença de morfotipos *spherical-with-sockets*, identificados na literatura por como fitólitos produzidos por plantas da família Pinaceae. Também foram identificados morfotipos de Ciperaceae (2%).

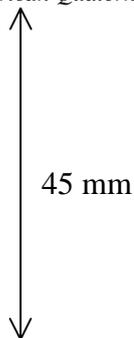
Os valores para os índices Iph, IC e D/P são 53%, 25% e 0.05, respectivamente. O valor $\delta^{13}\text{C}$ obtido entre 140-150 cm marca um sinal isotópico que indica vegetação mista com elementos arbóreos, arbustivos e Poaceae, isto é, contribuição de plantas C_3 maior do que a constatada na Zona II (Holoceno Médio). Esses resultados permitem inferir que neste período, do início da deposição da MOS do horizonte húmico, predominava uma floresta aberta com ocorrência de Araucária e espécies de floresta atlântica que teria se instalado após o período mais seco do Pleistoceno. Essa vegetação teria se desenvolvido sob condições de temperatura baixa, semelhante a atual, sem longos períodos de seca.

O perfil de Salinas está situado em uma zona de clima considerado como de transição para o semi-árido e vegetação atual de Cerrado *Sensu Stricto*. É muito argiloso (>580g kg^{-1}) e ácido (pH entre 4.5 -5.1). A densidade do solo aumenta de 0,76 (0-35 cm) à 0,92 t m^{-3} (200cm). No horizonte húmico os valores de COT variam de 32,6 a 15,5 g kg^{-1} , os quais se correlacionam positivamente com a alta quantidade de fragmentos de carvão aí existentes. Apresenta mineralogia caulinitica com Ki e Kr variando, respectivamente, entre 1,36-1,54 e 1,17- 1,30, correspondente uma mistura de caulinita e óxidos de Al (Gibbsita) e de Fe (Hematita e



Goethita). Este perfil apresentou valor $\delta^{13}\text{C}$ da MOS de $-25,02\text{‰}$ no horizonte Ap (0-10 cm), típico da vegetação atual, um Cerrado *Sensu Stricto*. O sinal isotópico se mantém entre $-21,04\text{‰}$ (210-200 cm) e $-21,90\text{‰}$ (40-30 cm), característico de mistura de planas C_3 e C_4 (Pessenda et al., 1996), com predomínio de plantas C_3 a partir de ca. de 7.349 ± 92 anos Cal. AP, provavelmente em decorrência de um clima úmido, porém um pouco mais seco que o atual.

A partir do sinal fitolítico foram definidas três zonas no perfil, assim como em Guarapuava, que podem corresponder a diferentes momentos dentro da evolução do perfil, mais especificamente do horizonte húmico dos solos estudados. Da base para o topo do perfil: **Zona I** (7.349 ± 92 anos Cal. AP - $\sim 1.663\pm 73$ anos Cal. AP) engloba os horizontes Bw e BA (210-110 cm). Predomínio de Dicotiledoneae (arbórea e arbustiva) (39%) e Palmeira (36%). A soma dos indicativos de Poaceae representa 41% da assembléia, sendo 13% de Panicoideae (C_4), 6% de Chloroideae (C_4/C_3) e 7% do morfotipo bulliforme. Os valores $\delta^{13}\text{C}$ variaram de $-21,04\text{‰}$ (na base) à $-21,23\text{‰}$ (no topo), característicos de mistura de plantas C_3 e C_4 (Pessenda et al. 1996), com predomínio de plantas C_3 . Os fragmentos de carvão são abundantes e ao redor de 210 cm foi encontrada uma linha de carvão datada em 7.897 ± 59 anos Cal. AP. e indicam ocorrência de paleoincêndios (Silva e Vidal Torrado, 1999). Tais incêndios podem estar associados a períodos mais secos na região Sudeste no Holoceno médio (Pessenda et al., 1996; Gouveia et al., 1999). Os índices Iph, Ic e D/P variaram entre 22-43%, 3-16% e 1,85- 1,0, respectivamente, sugerindo uma vegetação mais aberta. A **Zona II** (a partir de 1663 ± 73 anos cal AP) - agrupa os horizontes AB, A4 e A3. Predomínio de fitólitos de Poaceae (57%) sendo 18% de Panicoideae e 6% do morfotipo bulliforme. Os fitólitos de Dicotiledoneas somam 25,5% e de Palmeiras 23,6% na base desta zona. A idade obtida pela datação ^{14}C dos carvões foi de 2.320 ± 100 anos AP. Todos os índices apresentaram valores mais baixos do que os da Zona I, sobretudo o índice D/P que apresentou valores entre 0,43 e 0,59, marcando pequena abertura na cobertura vegetal, assim como o sinal isotópico manteve-se inalterado, indicando a mesma tendência de abertura. Destaca-se nesta zona a presença de muitos fitólitos bilobates quebrados ao meio, o que pode indicar forte movimentação do material mineral do solo. A **Zona III** corresponde à porção mais superficial (30-0 cm) do solo (idade Moderna). O valor $\delta^{13}\text{C}$ da MOS de $-25,02\text{‰}$ no horizonte Ap (0-10 cm), é característico da vegetação de cobertura atual, um Cerrado *Sensu Stricto*, composta por arbustos e árvores de pequeno porte, típicas do Cerrado. O sinal isotópico desta vegetação foi de $-23,12\text{‰}$ - $-25,02\text{‰}$ e a assembléia fitolítica apresentou 59% de Poaceae (20% de Panicoideae), 14,2% de Dicotiledonea e 16,6% de Palmeiras, e um pequeno aumento na proporção de Ciperaceae em relação às zonas subjacentes. Assim como os valores de $\delta^{13}\text{C}$ os índices fitolíticos também assinalam uma vegetação com predomínio de elementos C_3 , mais fechada. A análise dos dados sugere o estabelecimento progressivo de uma formação aberta florestada no Holoceno Médio, associada a um clima mais úmido, semelhante ao atual. Os valores de D/P, Ic e Iph corroboram aqueles encontrados em regiões tropicais Africanas e no Brasil indicativos de uma vegetação aberta com árvores e arbustos no Holoceno médio (Alexandre et al., 1997; Barboni et al., 1999) associada a clima mais seco.



CONCLUSÕES

1. A MOS do horizonte húmico do perfil de Guarapuava derivou de uma possível vegetação de campo (subtropical) a partir do Holoceno médio, associada a um clima mais seco, que transicionou, no Holoceno superior, para vegetação mais fechada, florestada associada ao clima mais úmido e frio, semelhante ao atual.

2. A MOS do horizonte húmico do LVA de Salinas iniciou sua deposição a partir de uma vegetação com mistura de plantas C₃ e C₄, com predomínio de plantas C₃ (cerrado), no Holoceno inferior-médio associada a um clima mais seco que o atual. No Holoceno superior os dados indicam ter havido um pequeno empobrecimento isotópico em decorrência da instalação de uma vegetação florestada mais fechada semelhante ao Cerrado *Stricto Sensu* atual com um clima pouco mais úmido como o atual.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.-D.; LCZINE, A.-M.; VINCENS, A.; SCHWARTZ, D. A. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoecol.*, v. 136, p. 213-229, 1997.
- BARBONI, D.; BONNEFILLE, R.; ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J. D. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoecol.*, v. 152, p. 87-100, 1999.
- CALEGARI, M. R. Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos. Tese de Dout. ESALQ/USP. 256p. 2008.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS. 212. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1), 1997.
- GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos do carbono dos carvões e da matéria orgânica do solo em estudos de mudanças de vegetação e clima no Quaternário e da taxa de formação de solos do estado de São Paulo. *Anais da Acad. Bras. de Ciências*, v. 71, n.4-II, p. 969-980, 1999.
- LEPSCH, I.F.; BUOL, S. W. Oxisol-landscape relationship in Brazil. In: *International Soil Classification Work Shop*, 13, 1986. Campinas. SNLCS/EMBRAPA, USA, p. 174-189, 1986.
- MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN 1.0). *Annals of Botany*. V.6, n.2, p. 253-260, 2005.
- MADELLA, M.; POWERS-JONES, A. H.; JONES, M. K. A simple method of extraction of opal phytolith from sediments using a non-toxic heavy liquid. *J. of Archeological Sc.* V. 25, pp 801-803, 1998.
- MÜGLER, C.C. Polygenetic Oxisols on Tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil-Soil genesis and landscape development. Thesis (PhD). Agricultural University, Wageningen, 1998. 185 p.
- PESSENDA, L. C. R.; VALENCIA, E. P. E.; MARTINELLI, L. A.; CERRI, C. C.. ¹⁴C measurements in tropical soil developed on basic rocks. *Radiocarbon*, v.38, n.2, p. 203-208, 1996.
- PIPERNO, D. R. Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists. Lanham: AltaMira Press, 2006. 238p.
- SILVA, A. C.; VIDAL TORRADO, P. Gênese dos Latossolos Húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do Sul do Minas Gerais. *Rev. Bras. de Ci. do Solo*, v.23, p.329-341, 1999.