

# SIGNIFICADO PALEOAMBIENTAL DE FITÓLITOS EM REGISTRO PEDOESTRATIGRÁFICO DE PALEOCABECEIRA DE DRENAGEM - SUPERFÍCIE DE PALMAS - ÁGUA DOCE (SUL DO BRASIL)

Sani Daniela Lopes PAISANI<sup>1</sup>, Julio Cesar PAISANI<sup>1</sup>, Margarita Luisa OSTERRIETH<sup>2</sup>,  
Marga Eliz PONTELLI<sup>1</sup>

- (1) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Francisco Beltrão, Rua Maringá, 1200- Vila Nova. CEP 85.605-010. Francisco Beltrão, PR. Endereço eletrônico: sanidaniela@hotmail.com; juliopaisani@hotmail.com; mepontelli@hotmail.com.  
(2) Universidad Nacional de Mar Del Plata, Centro de Geologia de Costas y del Cuaternario, Mar del Plata, Mailbox 722, Buenos Aires 7600, Argentina. Endereço eletrônico: mosterri@hotmail.com.

Introdução
Características Gerais da Superfície de Palmas/Água Doce
Materiais, Métodos e Técnicas
Pedoestratigrafia e Geocronologia
Técnica da Análise Fitolítica
Determinação da Composição Isotópica do Carbono
Resultados
Unidades Pedoestratigráficas, Geocronologia e Evolução da Paleocabeceira de Drenagem
Registro Fitolítico
Concentração de Fitólitos no Registro Pedoestratigráfico
Morfológicos de Fitólitos
Índices Fitolíticos
Integração de Resultados Pedoestratigráficos, Fitolíticos e Isotópicos do Carbono
Conclusões
Referências Bibliográficas

**RESUMO** - Este artigo traz resultados da aplicação da 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). A sequência pedoestratigráfica é constituída por horizontes alóctones (horizontes C) e autóctones (horizontes A) estabelecidos entre o Último Interstadial e o Holoceno Superior. Os horizontes alóctones foram gerados por fluxos de lama discretos nas encostas que circundam a paleocabeceira de drenagem. A aplicação da análise fitolítica no registro pedoestratigráfico de paleocabeceira de drenagem revelou que: a) a formação vegetal de Campo ocupou as encostas da área compreendida pela paleocabeceira de drenagem pelo menos do Último Interstadial ao Holoceno Superior; b) nos níveis pedoestratigráficos constituídos de horizontes A predominam fitólitos gerados por vegetação que ocupou paleosuperfícies; c) nos níveis pedoestratigráficos colúviais, gerados por fluxos de lama discretos (horizontes C), há mistura de fitólitos gerados por vegetação que ocupou paleosuperfícies (autóctones) e fitólitos das encostas vizinhas que configuram como áreas fonte dos colúvios (alóctones); d) fitólitos alterados física e quimicamente predominam no registro pedoestratigráfico; e) fitólitos carbonizados indicam paleoincêndios tanto naturais quanto causados por paleoíndios; f) índices fitolíticos sugerem regime térmico contínuo frio desde o Último Interstadial, mais seco durante o Último Máximo Glacial e Holoceno Médio/Superior.

**Palavras-chave:** isótopo do carbono, paleossolo, colúvio, Quaternário Superior.

**ABSTRACT** – This article presents the paleoenvironmental significance of phytoliths in paleovalley head pedostratigraphic sequence in geomorphic surface Palmas/Água Doce (Southern Brazil). The pedostratigraphic sequence is made up of allochthonous horizons (C horizons) and autochthonous (A horizons) established between the Last Interstadial and the Late Holocene. The allochthonous horizons were generated by discrete mud flows on the slopes that surround the paleovalley head. The application of phytolith analysis on the paleovalley head pedostratigraphic sequence revealed that: i) plant formation of grassland-savanna (*Campo*) occupied the slopes of the area comprised by paleovalley head at least from the last Interstadial to the Late Holocene; ii) on pedostratigraphic levels made up of horizons A the phytoliths generated by vegetation that occupied paleosurfaces dominated; iii) on colluvial levels generated by discrete mudflows (C horizon), there is mixture of phytoliths produced by vegetation that occupied paleosurfaces (autochthonous) and phytoliths from the surrounding slopes that form as source areas of colluvium (allochthonous); iv) d) physical and chemically degraded phytoliths predominate in pedostratigraphic record; v) carbonized phytoliths indicate fires both natural as caused by paleoindians; vi) phytolith indices suggest cold continuous thermal regime since the last interstadial, drier during the Last Glacial Maximum and Holocene Middle/Upper.

**Keywords:** carbono isotopes, paleosol, colluvium, Upper Quaternary.

## INTRODUÇÃO

Fitólitos são corpos de sílica hidratada amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) gerados nas paredes celulares ou nos tecidos das plantas durante seus ciclos vegetativos (Piperno, 2006). Eles apresentam tamanhos de 0,10 a 0,002 mm, equivalentes as frações granulométricas areia

muito fina e silte (Rovner, 1971), e são incorporados ao solo após a morte de plantas por meio da decomposição de suas raízes, tronco e folhas (Osterrieth et al., 2009). Os fitólitos incorporados no solo podem ser preservados ao longo do tempo em meio

geoquímico oxidante, o que não acontece com outros proxies de vegetação. Embora seja uma vantagem em relação aos grãos de pólen (Salgado-Labouriau, 2007), a análise desses sedimentos biológicos deve ser feita com cautela devido a limitações, como redundância e multiplicidade (Rovner, 1971). Enquanto que a primeira denuncia que um fitólito com determinada morfologia pode ser produzido por diversas plantas; o segundo expressa que a mesma planta pode produzir diferentes morfologias de fitólitos. Soma-se a tais limitações o fato de que nem todas as espécies vegetais são produtoras de fitólitos, e aquelas que o produzem podem gerar quantidades muito diferentes, como é o caso das Poaceae que são umas das maiores produtoras de fitólitos (Raitz, 2013).

Revisões a respeito da formação, preservação e o significado dos fitólitos encontrados em solos e sedimentos de diferentes zonas climáticas foram feitas nas últimas décadas (Piperno, 1988; Coe et al., 2014; Luz et al., 2015). Nelas chama a atenção que o fato dos fitólitos, embora apresentarem limitações, podem ser usados como fontes de informações para estudos do Quaternário, pois tem uma relação direta com a vegetação que ocupou um determinado local, ou área, ao longo do tempo. A análise dessas estruturas em sequências estratigráficas é crescente nos estudos de reconstrução paleobotânica, paleoecologia, paleoclimatologia, paleogeografia e arqueologia, dentre outras (Coe et al., 2014).

Na região sudoeste do Paraná e noroeste de Santa Catarina, onde o relevo é mantido por derrames vulcânicos da Formação Serra Geral (Schneider et al., 1974), essa técnica vem aplicada para compreender: a) trocas de vegetação entre Floresta Ombrófila Mista com

Araucária (FOM) e Campo durante o Quaternário Superior ao longo de superfícies geomórficas reconhecidas nessa área (Calegari, 2008; Cecchet, 2015 e Ewald, 2015); e o papel das mudanças climáticas na evolução de paleocanais de baixa ordem hierárquica na superfície geomórfica de Palmas/Água Doce (Paisani et al., 2013a).

Tal superfície passou por importantes inversões de relevo durante o Holoceno nas áreas ocupadas por bacias de baixa ordem hierárquica (<4ª ordem) (Paisani et al., 2012; 2014; Guerra e Paisani, 2012; 2013; Fachin, 2013; Oliveira, 2014). Embora os trabalhos estejam avançados no uso da análise fitolítica, dados isotópicos do carbono aplicados em sequências pedoestratigráficas da superfície geomórfica de Palmas/Água Doce demonstra que a FOM ocupava os fundos de vale de alta ordem hierárquica (> 4ª ordem) até o final do Pleistoceno (Paisani et al., 2014). Não se sabe qual dessas formações vegetais predominava nas áreas de cabeceiras de drenagem durante esse período. Outra questão em aberto é o fato do registro pedoestratigráfico que remonta ao Pleistoceno estarem em cabeceira de drenagem colmatadas por sedimentos coluviais – paleocabeceiras de drenagem (Paisani et al., 2014; Paisani et al., 2016), as quais podem conter mistura de fitólitos gerados tanto pelas áreas fontes dos colúvios (alóctones) quanto durante as pausas na sedimentação (autóctones).

É nesse contexto que se insere o presente trabalho, e traz resultados da aplicação da análise fitolítica em sequência pedoestratigráfica para compreender o cenário paleoambiental de evolução de paleocabeceira de drenagem na superfície geomórfica de Palmas/Água Doce.

## CARACTERÍSTICAS GERAIS DA SUPERFÍCIE DE PALMAS/ÁGUA DOCE

A superfície de Palmas/Água Doce corresponde a um altiplano com mais de 1.200 m de altitude no limite dos estados do Paraná e Santa Catarina (Figura 1). Nesse local ocorre o

divisor de águas regional drenado pelos afluentes dos rios Iguaçu e Uruguai, respectivamente, rios Chopinzinho e Chapecó (Santa Catarina, 1986).

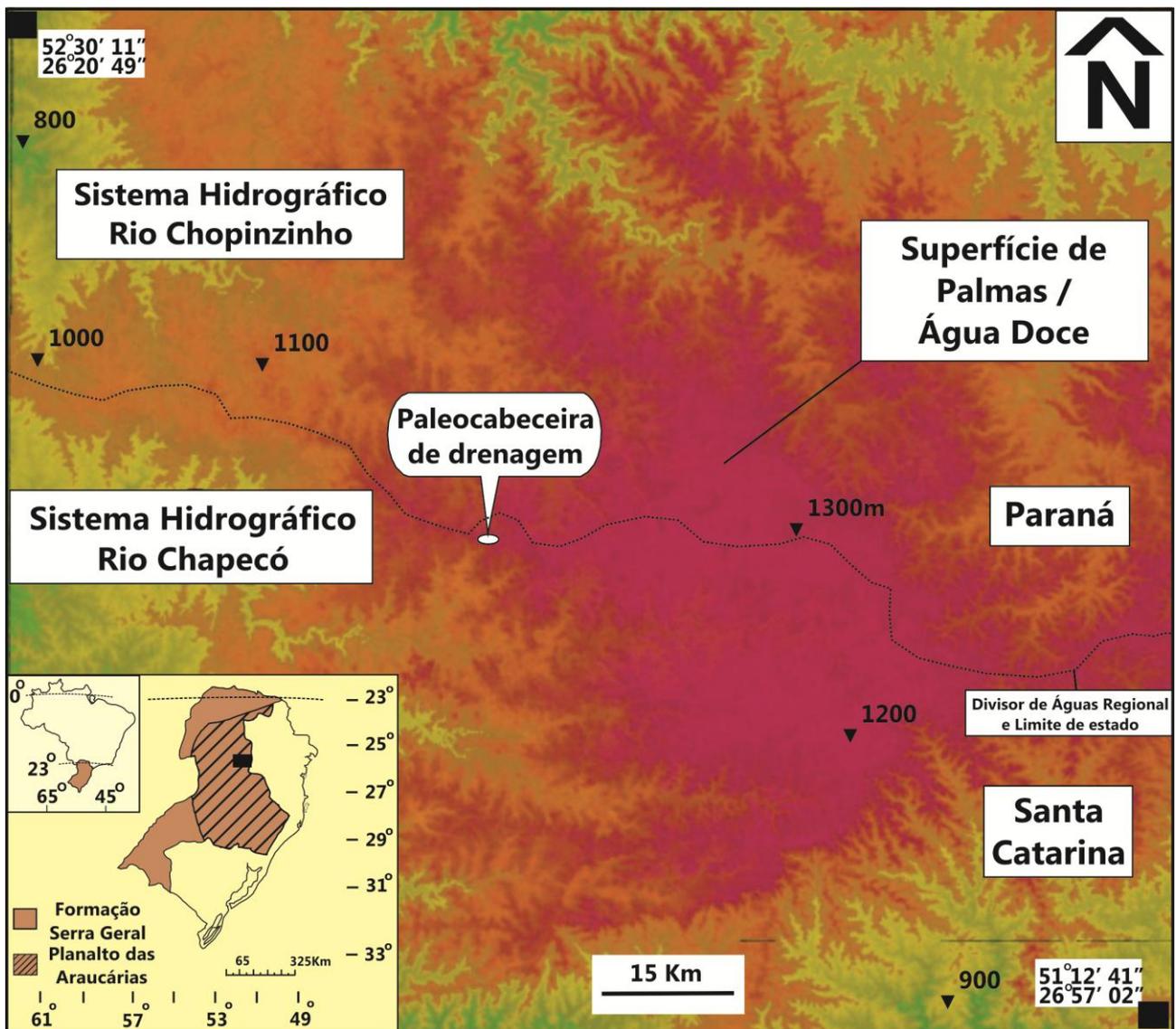


Figura 1. Superfícies geomorfológicas de Palmas/Água Doce entre sudoeste do Paraná e Noroeste de Santa Catarina.

A superfície apresenta paisagem geomorfológica constituída de colinas convexas mantidas por riolitos (EoCretácea), sedimentos coluviais, colúvio-aluviais e paleossolos enterrados do Quaternário Tardio (Paisani et al., 2013b). A vegetação natural da superfície é Campo, o qual ocupa as colinas, e Floresta Ombrofila Mista com Araucária nos fundos de vale (Maack, 1948; Roderjan et al., 2002). Quando a formação vegetal de campo é composta exclusivamente de gramíneas (*Poaceae*), ela pode ser designada *Campo Limpo*, ao passo que nos locais em que há gramíneas e formações arbustivas, pode ser chamada de *Campo Cerrado* (Maack, 1948; 1949). Devido ao uso intensivo do solo para pastoreio predominam nas colinas *Campo*

*Limpo* (Paisani et al., 2013a). Ao longo da história de atividades agropastoril nessa superfície, localmente foram introduzidos cultivos de batata, aveia e plantação de *Pinus elliotti*.

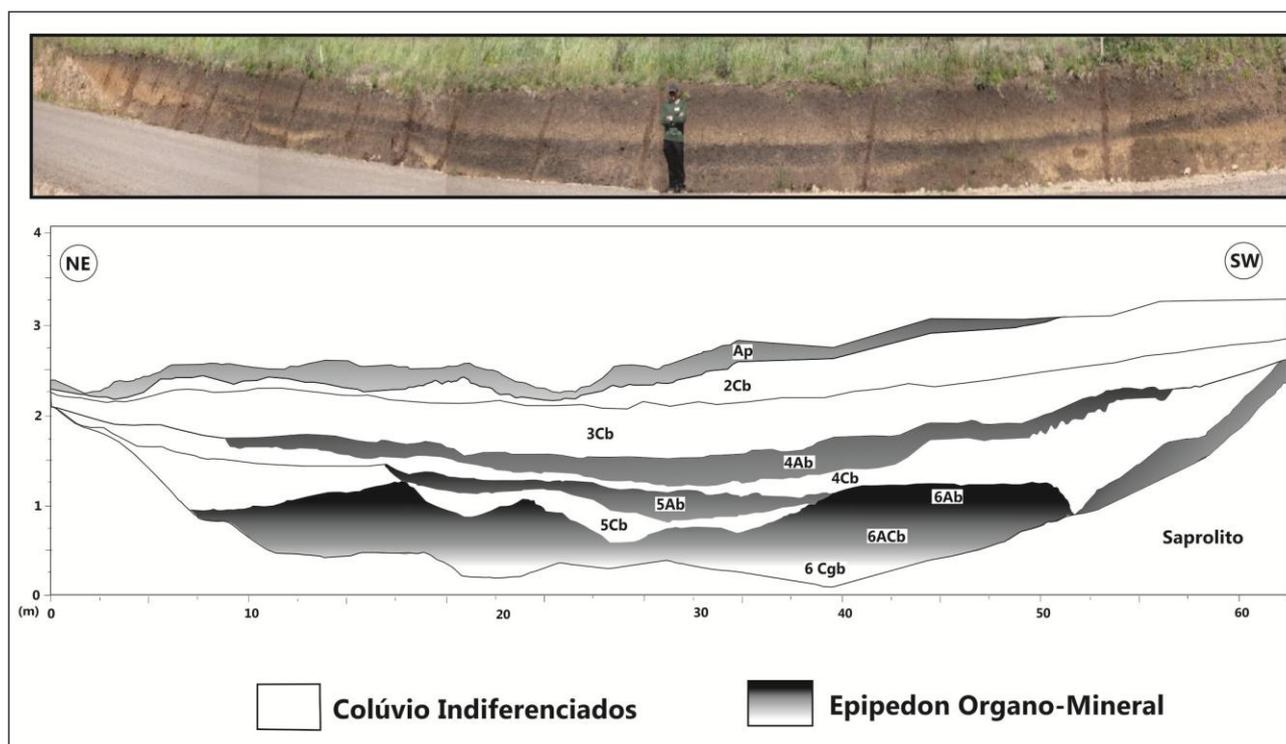
A vegetação de campo esta em equilíbrio com o clima moderno, caracterizado como subtropical úmido, ou temperado de altitude, com geadas anuais (Maack, 1981). A precipitação média anual registrada na estação meteorológica de Água Doce é de 1.590 mm.ano<sup>-1</sup> com chuvas bem distribuídas e temperatura média anual de 15° C com elevado gradiente térmico entre as estações de verão e inverno, com média máxima de 26° C e média mínima de 4° C.

## MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

### Pedoestratigrafia e geocronologia

Até o momento foram reconhecidas vinte e três seções pedoestratigráficas em paleofundos de vales de baixa ordem hierárquica (< 4ª ordem) na superfície de Palmas/Água Doce, das quais quatro referem-se a materiais de paleocabeceira de drenagem. Uma delas, situada em interflúvio do rio Chapecó, se

destaca por apresentar sequência de três paleohorizonte A enterrados (Ab) desenvolvidos durante o Último Estadal (Paisani et al., 2014). Tal paleocabeceira exibe seção pedoestratigráfica transversal ao seu eixo central exposta em corte de estrada rural e foi escolhida como área amostral para aplicação da análise fitolítica.



**Figura 2.** Foto panorâmica da seção pedoestratigráfica estabelecida ao eixo central de paleocabeceira de drenagem e exposta em corte de estrada rural (A). Reprodução da distribuição bidimensional das unidades pedoestratigráficas reconhecidas na seção (modificado de Paisani et al., 2014). O horizonte 2ACb e 3ACb apresentam 10 cm de espessura e não estão sendo representados.

Os materiais dessa seção pedoestratigráfica foram caracterizados previamente. A distribuição lateral das unidades (arquitetura estratigráfica) foi organizada por Paisani et al. (2014) seguindo critério e nomenclatura pedoestratigráfica com base em Birkeland (1999) e Schaetzl & Anderson (2005). Nessa concepção metodológica níveis coluviais correspondem a horizontes C enterrados.

A textura dos níveis pedoestratigráficos foi definida por Pereira e Guerra (2014), enquanto que a descrição morfopedológica foi obtida em campo conforme Paisani et al (2014). A geocronologia da matéria orgânica dos horizontes A enterrados (4Ab, 5Ab e 6Ab) do registro pedoestratigráfico foram determinadas pelo  $^{14}\text{C}$  (AMS) no laboratório de radiocarbono

da *Beta Analytic Inc.* (USA), enquanto que dos níveis coluviais (Cb) foram estabelecidas pelo método de luminescência opticamente estimulada (LOE).

Foram submetidas ao laboratório de Datações LOE e TL da empresa Datações, Comércio e Prestação de Serviços Ltda – LTDA duas amostras para determinação da geocronologia por luminescência opticamente estimulada (LOE) do registro pedoestratigráfico da seção estudada, respectivamente dos níveis pedoestratigráficos 2 e 3 (horizontes 2ACb e 3Cb). O protocolo de determinação da dose equivalente seguiu a mensuração a partir da liberação dos elétrons presos no retículo cristalino de quinze grãos de quartzo por meio da aplicação de luz (15 alíquotas). A dose

equivalente corresponde a média desses resultados. Já a dose anual de radiação foi mensurada com base no conteúdo radioativo de Urânio, Tório e Potássio dos grãos de quartzo, conforme [www.datacao.com.br](http://www.datacao.com.br).

### Técnica da análise fitolítica

A técnica de análise de fitolítica consistiu em quatro etapas, sendo elas coleta de amostras, extração de fitólitos, contagem e classificação de morfotipos e índices fitolíticos. Em campo foram coletadas um total de vinte e quatro amostras deformadas a cada 10cm de profundidade a partir da superfície moderna. A etapa de extração de fitólitos foi realizada no Laboratório de Análises de Formações Superficiais da UNIOESTE- Francisco Beltrão. O protocolo utilizado se baseou em Alvarez et al. (2005) e Calegari et al. (2013) e consistiu em seleção de cerca de 5g de material previamente desagregado em água, queima de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$  35%), remoção de óxihidróxido de ferro e alumínio com ditonito ( $Na_2S_2O_4$ ), remoção da fração argila com hexametáfosfato de sódio ( $NaPO_3$ ), tamponado com carbonato de cálcio ( $Na_2CO_3$ ), e extração de fitólito utilizando-se metatungstato de sódio ( $Na_6O_{39}W_{12}$ ). Na sequência foram confeccionadas lâminas para a contagem da concentração de fitólitos em relação a fração mineral e para a classificação de morfotipos. A etapa de contagem e classificação de morfotipos de fitólitos foi realizada no Laboratório de Microscopia Ótica da UNIOESTE de Francisco Beltrão. As lâminas foram analisadas no microscópio petrográfico trinocular Leica DM 2500 P, com câmera Leica EC 3 acoplada. Imagens das lâminas foram capturadas no *software* de captura de imagens LAS EZ versão 1.4.

Para as lâminas de contagem foram individualizados os fitólitos em relação aos grãos de minerais. O universo de observação no microscópio foi dividido em campos visuais onde se contou 400 grãos de forma sistemática individualizando sua constituição em fitólitos e minerais variados (Osterrieth et al., 2009). A concentração de fitólitos em relação a fração mineral foi calculada em percentuais pela razão entre número de grãos de fitólitos multiplicado por cem pela soma entre grãos minerais e fitólitos, conforme a expressão: Concentração

de fitólitos (%) = número de grãos x 100 / (número de grãos minerais + número de grãos de fitólitos).

Para as lâminas de classificação foram contados exclusivamente os grãos de fitólitos. Nas lâminas analisadas foram encontrados morfotipos referidos pelo *International Code for Phytolith Nomenclature* – ICPN 1.0 (Madella et al., 2005), partículas queimadas, fragmentos de fitólitos, e fitólitos com alteração química e física, como sugerido por Osterrieth et al. (2009).

Índices fitolíticos têm sido propostos para auxiliar interpretações ambientais e taxômicas (Twiss, 1992; Alexandre et al., 1997; Barboni et al., 1999; Bremond et al., 2005a,b; Barboni et al., 2007; Bremond, 2008; Calegari, 2008; Coe, 2009; Coe et al., 2014). No presente trabalho os índices foram calculados em gabinete para cada nível amostrado.

O *Índice de Cobertura Arborea* (D/P) é utilizado para calcular a densidade da cobertura arborea, relacionando D (dicotiledôneas lenhosas) com P (Poaceae). Neste índice os silicofitólitos de elementos de madeira (*Globular*) são divididos pelo número de silicofitólitos de *Poaceae* (*Bilobate*, *Cuneiform*, *Cross*, *Elongate*, *Point Shaped*, *Parallelepipedal Bulliform Cell* e *Saddle*) (Alexandre et al., 1997), conforme a equação  $D/P = Globular\ granulate / (bilobate\ short\ cell + cross + saddle + acicular + elongate + cuneiform + parallelepipedal\ bulliform\ cells)$ .

O *Índice de Áridez / Umidade* (Iph) indica a adaptação da planta à aridez. Este índice é usado para a relação de *Chloridoideae* e *Panicoideae* (*Chloridoideae/ Chloridoideae + Poaceae*), conforme a equação  $Iph\ (\%) = Saddle/Saddle + Cross + Bilobate \times 100$  (Twiss 1992).

O *Índice Climático* (Ic) indica a proporção de silicofitólitos de gramínea  $C^3$  (*Pooideae*), em comparação com o total de silicofitólitos de gramíneas (*Chloridoideae + Panicoideae + Pooideae*) x 100, ou seja,  $Ic\ (\%) = Rondel + Trapeziform\ Polylobate + Trapeziform\ Short\ Cell / Rondel + Trapeziform\ Polylobate + Trapeziform\ Short\ Cell + Saddle + Cross + Bilobate$  (Twiss, 1992; Bremond, 2008; Coe et al., 2014). Este índice indica a adaptação de determinada formação vegetal a uma

temperatura mínima e/ou forte pressão de dióxido de carbono em áreas com elevada altitude (Coe et al., 2014).

O *Índice de Estresse Hídrico* (Bi), também conhecido como Índice de *Buliformes*, expressa a reação das plantas a ausência de água no ambiente edáfico. Quando a planta é submetida ao estresse hídrico a alta temperatura e baixa umidade edáfica, ocorre a concentração e precipitação da sílica, ou seja, quanto mais a planta transpirar mais células *Buliformes* silicificadas serão produzidas na epiderme das gramíneas, permitindo estimar a secura do ambiente e expressar seu estresse hídrico (Bremond et al., 2005a; Coe et al., 2014). Tal índice é calculado da seguinte forma:  $Bi (\%) = \frac{Buliform + Cross + Saddle + Bilobate + Trapeziform + Short Cell + Point Shaped + Buliform}{Cross + Saddle + Bilobate + Trapeziform + Short Cell + Point Shaped + Buliform} \times 100$ . Diante disso, quanto maior o estresse hídrico maior será o Bi (Bremond et al., 2005a).

### **Determinação da composição isotópica do carbono**

A composição isotópica do carbono é uma técnica que vem sendo utilizada como complementar a análise de fitólitos (Alexandre et al., 1999; McClaran e Umlauf, 2000; Scott, 2002, Smith e White, 2004; Calegari, 2008; Coe, 2009; Cecchet, 2015; Ewald, 2015). Essa técnica tem sido aplicada na reconstrução da paleovegetação do registros pedológicos e pedoestratigráficos do sul do Brasil (Pessenda et al., 2005; Oliveira et al., 2008 Calegari, 2008), bem como da área de estudo (Paisani et al., 2013a; 2014), e consiste na determinação do conteúdo de carbono e deduz o padrão de fotossíntese das plantas responsáveis por tal conteúdo estabelecendo a razão entre  $C_{13}$  e  $C_{12}$  ( $\delta^{13}C$ ) (Pessenda et al., 2005).

Foram submetidas um total de quatorze amostras dos principais níveis pedoestratigráficos da seção estudada para determinação da razão  $C_{13}$  e  $C_{12}$  ( $\delta^{13}C$ ) no Laboratório de Isótopos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP). Os níveis pedoestratigráficos mais espessos contaram com amostras do topo, centro e base.

## **RESULTADOS**

### **Unidades pedoestratigráficas, geocronologia e evolução da paleocabeceira de drenagem**

A seção pedoestratigráfica tem 180cm de espessura com horizontes delgados que variam de 10 a 60cm de espessura (Figura 2). Foram individualizadas doze unidades pedoestratigráficas (horizontes Ap, 2ACb, 2Cb, 3ACb, 3Cb, 4Ab, 4Cb, 5Ab, 5Cb, 6Ab, 6ACb e 6Cgb) (Tabela 1). O nível pedoestratigráfico Ap é constituído por sedimentos tecnogênicos modernos, enquanto que os níveis 2 a 5 correspondem a materiais colúviais e o nível 6 envolve materiais alúviais (Paisani et al., 2014; Pereira e Guerra, 2014). Os materiais colúviais decorrem de fluxos de lama discretos gerados nas encostas que circunscrevem a paleocabeceira de drenagem. Enquanto que os horizontes 2ACb, 4Ab, 6Ab e 6ACb foram melanizados após a sedimentação. Diante disso os horizontes Cb são de origem alóctone enquanto que os horizontes Ap e Ab são autóctones. O horizonte 3ACb apresenta reduzida melanização e sua identificação como

horizonte de transição superficial se deve a concentração de fitólitos.

Tais materiais sugerem que a paleocabeceira de drenagem passou por eventos de remobilização dos solos estabelecidos nas áreas circundantes e deposição em seu eixo central. A datação da fração húmica dos horizontes Ab enterrados (4Ab, 5Ab e 6Ab) aponta idades entre 25.410 (30.440 - 30.190 cal.) a 37.780 (42.880 a 41.880 cal.) anos AP (Tabela 2). Essas idades mostram que a melanização dos horizontes Ab e os fluxos de lama discretos ocorreram durante o Último Interestadial. Essa pedosequência foi interpretada por Paisani et al. (2014) como *pedocomplexo* cujas fases de sedimentação episódica de colúvios ocorreram durante o transcurso da pedogênese estabelecida antes de 24.000 AP. Nesse momento os fundos de vales dos canais de baixa ordem hierárquica, inclusive a porção central das cabeceiras de drenagem em estudo, desenvolveram solos hidromórficos com horizontes A e Cg.

**Tabela 1.** Características morfológicas das unidades pedoestratigráficas.

Horizonte	Espessura (cm)	Cor <sup>2</sup>	Textura	Estrutura <sup>4</sup>	Consistência		Outras Características
					Seca <sup>5</sup>	Úmida <sup>6</sup>	
Ap	20	10YR 2/1	Franco-argilo-siltosa a Franco-siltosa <sup>3</sup>	m-bs <sup>b</sup>	d	fi	Raízes modernas
2ACb	10	10YR 4/2	Argilo-siltosa a Franco-argilo-siltosa <sup>3</sup>	bs <sup>b</sup>	s	fr	Fragmentos líticos
2Cb	25	10YR 4/6	Argilo-siltosa a Franco-argilo-siltosa <sup>3</sup>	m-bs <sup>b</sup>	d	fi	Fragmentos líticos
3ACb	5	7.5YR 4/4	Argilo-siltosa a Franco-argilo-siltosa <sup>3</sup>	bs <sup>b</sup>	d	fi	-
3Cb	60	7.5YR 4/6	Argilo-siltosa a Franco-argilo-siltosa <sup>3</sup>	bs <sup>b</sup>	d	fi	Concentração de grânulos e seixos localmente
4Ab <sup>1</sup>	15	10YR 2/1	Franco-argilo-siltosa	m-bs <sup>b</sup>	s	fi	Traço de raízes
4Cb	25	7.5YR 4/3	Franco-argilo-siltosa <sup>3</sup>	bs <sup>b</sup>	d	fi	Pedorrelíquias de Horizonte A
5Ab <sup>1</sup>	20	10YR 2/1	Franco-argilo-siltosa	m-bs <sup>b</sup>	s	fr	Traço de raízes
5Cb	30	10YR 4/3	Argilosa a Argilo-siltosa <sup>3</sup>	m-bs <sup>b</sup>	d-m	fi	Fragmentos líticos
6Ab <sup>1</sup>	30	10YR 2/1	Argilo-siltosa	bs <sup>b</sup>	s	fi	Traço de raízes
6ACb	25	7.5YR 2.5/1	Argilo-siltosa <sup>3</sup>	bs <sup>b</sup>	m	fi	Traço de raízes
6Cgb	20	10YR 6/3, 2.5YR 6/3, 2.5YR 7/6	Argilo-siltosa a Franco-argilo-siltosa <sup>3</sup>	bs <sup>b</sup>	d	fi	Porosidade radicular

<sup>1</sup>Informações obtidas de Paisani et al. (2014).

<sup>2</sup>Segundo Carta de Munsell.

<sup>3</sup>Adaptado de Pereira e Guerra (2014) ao diagrama triangular da USDA (Schaetzl e Anderson, 2005).

<sup>4</sup>g:granular, bs:blocos subangulares com grau de desenvolvimento forte<sup>a</sup> ou médio<sup>b</sup>, m:maciça.

<sup>5</sup>d:dura, m:macia, s:solta.

<sup>6</sup>fi:firme, fr:friável.

**Tabela 2.** Idades da Matéria Orgânica dos paleohorizontes Ab (Paisani et al., 2014).

Horizonte	Profundidade (cm)	Código Amostra (Lab.)	Idade ( <sup>14</sup> C Ka AP)	Idade Calendário <sup>a</sup> (cal.Ka AP)	13c/12C (‰)
4Ab	145 cm	Beta-351573	25.410±120	30.440-30.190	-16,80
5Ab	175 cm	Beta-351572	26.690±140	31.280-31.070	-17,00
6Ab	210 cm	Beta-351571	37.780±390	42.880-41.880	-13,90

<sup>a</sup>2 $\sigma$ ,95% de probabilidade. Ka: kilo-ano.

**Tabela 3.** Resultados das idades por luminescência oticamente estimulada (LOE) em grãos de quartzo pelo protocolo SARs (*Single Aliquot Regenerative-dose*) com 15 alíquotas.

Horizonte	Prof. (cm)	Th (ppm)	U (ppm)	K (%)	Umidade (%)	Dose Anual (uGy/ano)	Dose Equivalente (Gy)	Desvio Padrão	Idade (anos AP)
2ACb	30	18,645 ±0,671	4,884 ±0,011	0,804 ±0,117	25,26	3.420±175	1,75	0,87	510±50
3Cb	70	19,886 ±0,716	4,817 ±0,100	0,748 ±0,108	23,42	3.460±190	21,20	8,71	6.130±645

Os sedimentos coluviais que recobrem os paleohorizontes Ab, níveis pedoestratigráficos 3Cb e 2ACb, foram datados por luminescência oticamente estimulada - LOE (SAR) e apresentaram, respectivamente, as idades de 6.130 a 510 anos AP (Tabela 3). Tais idades são importantes para o quadro cronoestratigráfico, pois revelam hiato erosivo/deposicional entre os níveis pedoestratigráficos 4 e 3 de aproximadamente

19.000 anos. Igualmente registra hiato erosivo/deposicional entre os níveis pedoestratigráficos 3 e 2 de aproximadamente 5.500 anos.

### Registro fitolítico

#### Concentração de Fitólitos no Registro Pedoestratigráfico

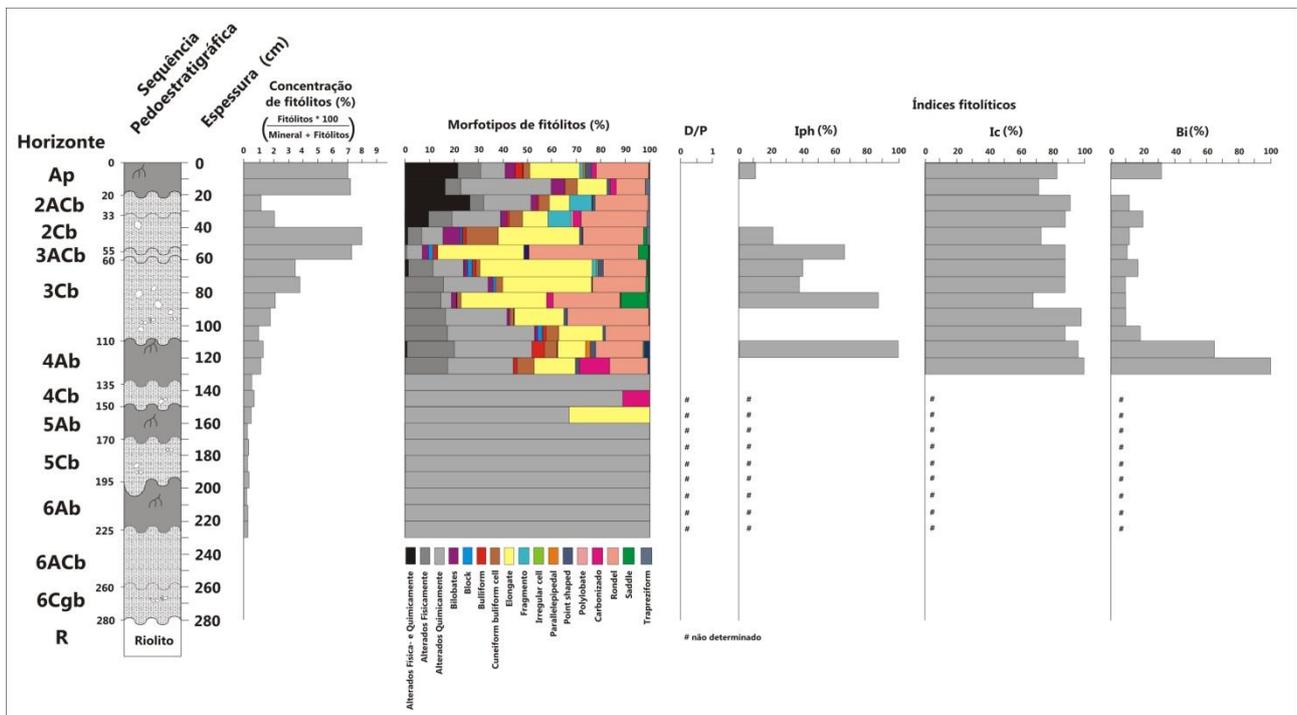
A concentração de fitólitos no registro pedoestratigráfico variou de 0,15 a 7,17%

(Figura 3). A distribuição vertical dos fitólitos mostra tendência de redução da concentração conforme a profundidade, havendo picos de maior concentração nos horizontes Ap, 2Cb, 3ACb, 4Ab, 5Ab e 5Cb base, por vezes coincidente com o topo dos níveis pedoestratigráficos 1, 3, 4 e 5 (Figura 3). As concentrações de fitólitos das profundidades de 30-40 cm, 50-60cm, 130-140cm e 190-200cm representam mistura de materiais diante da coleta sistemática, respectivamente, dos horizontes 2Ab com 2Cb, 2Cb com 3Cb, 4Ab com 4Cb e 5Cb com 6Ab (Figura 3).

Próximo à superfície, tanto a base quanto o topo do horizonte Ap apresentam um total de ~7% de fitólitos. Já o horizonte 2ACb registra substancial redução com valores que decrescem de 1 para 2%. Esse último valor corresponde à mistura de materiais com o topo do horizonte 2Cb. O topo do referido horizonte registra os maiores percentuais de fitólitos de toda a sequência pedoestratigráfica, entre 7 e 8% (Figura 3). No horizonte 3ACb ainda há um importante incremento de fitólitos

(aproximadamente 4%), porém inferior ao registrado na amostra de mistura entre este e o sobrejacente (50-60cm). A partir deste nível percebe-se uma tendência de decréscimo na concentração de fitólitos com a profundidade, cujos percentuais totais ficam em torno de 1%. Acredita-se que o topo do horizonte 3ACb represente a base de um nível pedológico que foi truncado pela erosão, talvez um remanescente de horizonte 3Ab.

A partir do topo do horizonte 4Ab há um sutil aumento nos percentuais de fitólitos (>1%) e retorna a reduzir com a profundidade até a base do horizonte 4Cb. O topo do horizonte 5Ab registra tendência similar. Percebe-se percentuais de fitólitos abaixo de 1% nos demais níveis pedoestratigráficos, havendo apenas picos sutis de elevação nas profundidades de 170-180cm e 190-200cm, cuja última corresponde a amostra de mistura da base do horizonte 5Cb e topo do 6Ab. Enfim, na base da seção pedoestratigráfica, níveis 6ACb e 6Cgb, não há ocorrência de fitólitos (Figura 3).



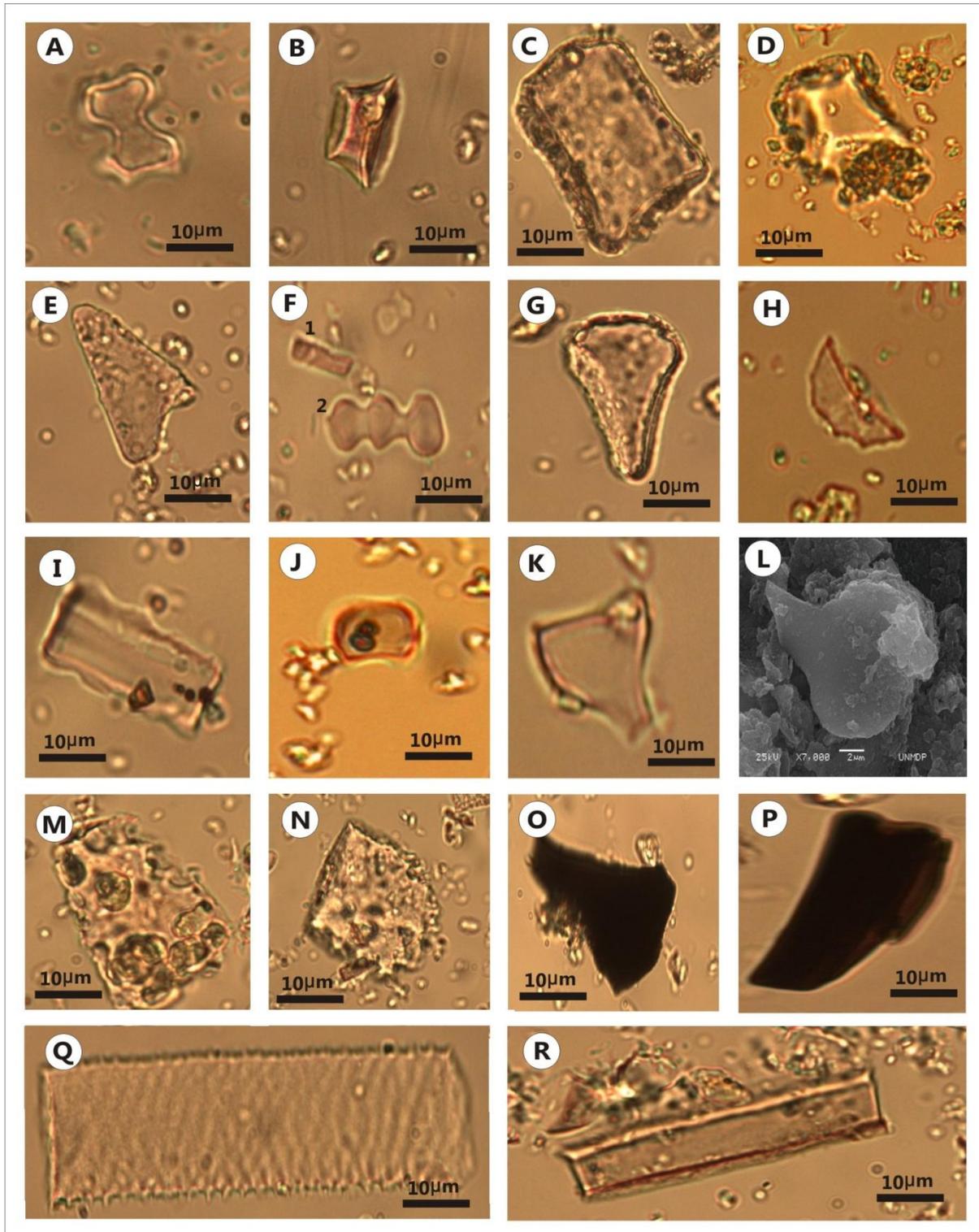
### Morfotipos de Fitólitos

A análise fitolítica realizada nas vinte e quatro amostras da sequência pedoestratigráfica da seção revelou um total de 2.860 fitólitos das seguintes categorias: *Bilobate*, *Block*, *Bulliform*, *Cuneiform bulliform cell*, *Elongate*,

*Irregular cell*, *Parallelepipedal bulliform*, *Point shaped*, *Polylobate*, *Rondel*, *Saddle* e *Trapeziform*, que se encontram, sobretudo, entre os horizontes Ap e 4Ab (Figura 3 e 4). Além destes morfotipos há outros que foram classificados como alteração física (quebrados)

e/ou alteração química (corrosão), além de Carbonizados (Figura 4). Essas categorias de fitólitos são importantes, pois trazem informações ambientais vinculadas a queimadas e processos deposicionais/pós-deposicionais

(Osterrieth et al., 2009; Madella e Lancelotti, 2012), e predominam em todos os níveis pedostratigráficos, sendo exclusivo nos horizontes 4Ab (base), 5Ab (base), 5Cb, 6Ab e 6ACb (topo) (Figura 3).



**Figura 4.** Morfotipos de fitólitos *Bilobate* (A), *Rondel* (B), *Bulliform* (C), *Block* com alteração química alta (D), *Point shaped* (E), *Elongate* (F<sub>1</sub>), *Polylobate* (F<sub>2</sub>), *Cuneiform bulliform cell* (G), *Irregular cell* (H), *Trapeziform* (I), *Saddle* (J), alteração física (K), alteração física decorrente da mastigação bovina – MEV (L), alteração química alta (M), alteração física e química (N), Carbonizado (O/P), *Elongate* (Q), *Parallelepipedal bulliform* (R) identificados nos níveis pedostratigráficos da paleocabeceira de drenagem, a exceção da letra L que foi obtida de fezes de vaca.

Os morfotipos *Elongate*, *Rondel*, *Bilobate*, *Bulliform*, *Cuneiform bulliform cell*, *Point shaped*, *Saddle*, *Trapeziform* e *Polylobate* são mencionados na literatura como indicadores taxonômicos de gramíneas (Poaceae), dos quais *Rondel*, *Bilobate*, *Saddle* e *Trapeziform* apresentam significado ambiental (Twiss et al., 1969; 1986; Barboni et al., 1999; Bremond et al., 2005a; Barboni et al. 2007; Coe et al., 2014). *Rondel* é o morfotipo predominante nos níveis pedoestratigráficos, depois da classe de alterados e *Elongate*, e se distribui entre os horizontes Ap e 4Ab (Figura 3). Tal morfotipo é produzido em elevada quantidade nas células epidérmicas curtas da subfamília de *Pooideae*, comumente desenvolvidas em zonas climáticas frias e temperadas de regiões intertropicais. Também ocorre na subfamília *Bambusoideae*, mas como homólogo atual é de Campo sem presença de *Bambusoideae* (Raitz, 2012), acredita-se que seja de fato indicativo de regime climático frio. Indicação climática similar é atribuída ao *Trapeziform* que é produzido na subfamília *Pooideae* em regiões temperadas e frias ou em altitude nas zonas intertropicais.

*Bilobate* tem uma baixa ocorrência no computo geral dos níveis pedoestratigráfico (varia de 1,58 a 5,36%), por outro lado é associado a gramíneas de zonas climáticas quentes e úmidas ou condições edáficas de superávit hídrico. Já o morfotipo *Saddle* é produzido nas Poaceae (gramíneas) e é indicativo de condições climáticas ou edáficas secas.

### **Índices Fitólíticos**

Devido a ausência de fitólitos globulares, o índice D/P aplicado aos diferentes níveis pedoestratigráficos resultou, generalizadamente, no valor de zero (Figura 3). Tal valor reflete uma formação vegetal de Campo com predomínio de monocotiledôneas - Poaceae (Bremond et al., 2005b), confirmando a análise de morfotipos.

Os valores do Iph variaram de 0 a 100%, cujos valores mais elevados são observados na base do horizonte 2Cb, 3ACb, centro do 3Cb e topo do 4Cb da sequência pedoestratigráfica (Figura 3). Iph < 40% são vistos como indicativos de condições climáticas úmidas,

enquanto que os valores > 40% sugerem condições climáticas secas (Barboni et al., 1999). Para os materiais analisados obteve-se valores de Iph < 40% para os níveis pedoestratigráficos Ap, 2ACb, 2Cb e base do 3Cb indicam predomínio de Panicoideae (gramínea C<sub>4</sub>) e condições edáficas mais úmidas. Já o topo e centro do 3Cb e topo do 4Ab registraram Iph > 40%, o que é sugestivo de predomínio de gramíneas (xerofíticas Savanas com gramas curtas) e condições edáficas secas.

Os percentuais do Ic ficaram acima de 60% para os níveis pedoestratigráficos Ap a 4Ab (Figura 3). Isso indica que predomina gramíneas *Pooideae* (*Rondel* e *Trapeziform*), no caso deste perfil predomínio de *Rondel*, o que sugere regime climático frio (Twiss, 1992; Bremond, 2008; Coe et al., 2014).

O índice Bi variou de 0 a 100%, com distribuição errática ao longo dos níveis pedoestratigráficos e predomínio abaixo de 20% (Figura 3). Tal percentual expressa à baixa concentração de *Bulliformes*, morfotipo gerado na epiderme das gramíneas quando são submetidas a estresse hídrico (Bremond et al., 2005a; Coe et al., 2014). Assim, entre os níveis pedoestratigráficos Ap e 3Cb registra-se baixo estresse hídrico, diferente do topo do horizonte 4Ab que mostra elevado estresse hídrico.

### **Composição dos Isótopos Estáveis do Carbono**

O carbono total das unidades pedoestratigráfica variou de 6,11 a 3,17% (Figura 5). Valores mais elevados são observados próximo a superfície nos níveis Ap e 2Cb. Percebe-se decréscimo com a profundidade até a base do nível 3Cb. Igualmente, há acréscimo nos percentuais de carbono total dos níveis 4Ab e 5Ab. A partir deste último, há sutil tendência de decréscimo com a profundidade.

Os valores do  $\delta C-13$  das unidades pedoestratigráficas variaram de -14,09 a -17,48‰ (Figura 5). A distribuição dessa razão isotópica com a profundidade é variada, registrando-se valores mais negativos nos níveis 4Cb e 5Ab, próximos de -17‰, enquanto que nos níveis 2ACb, 2Cb, 5Cb e 6Ab os valores são menos negativos próximos de -14‰.

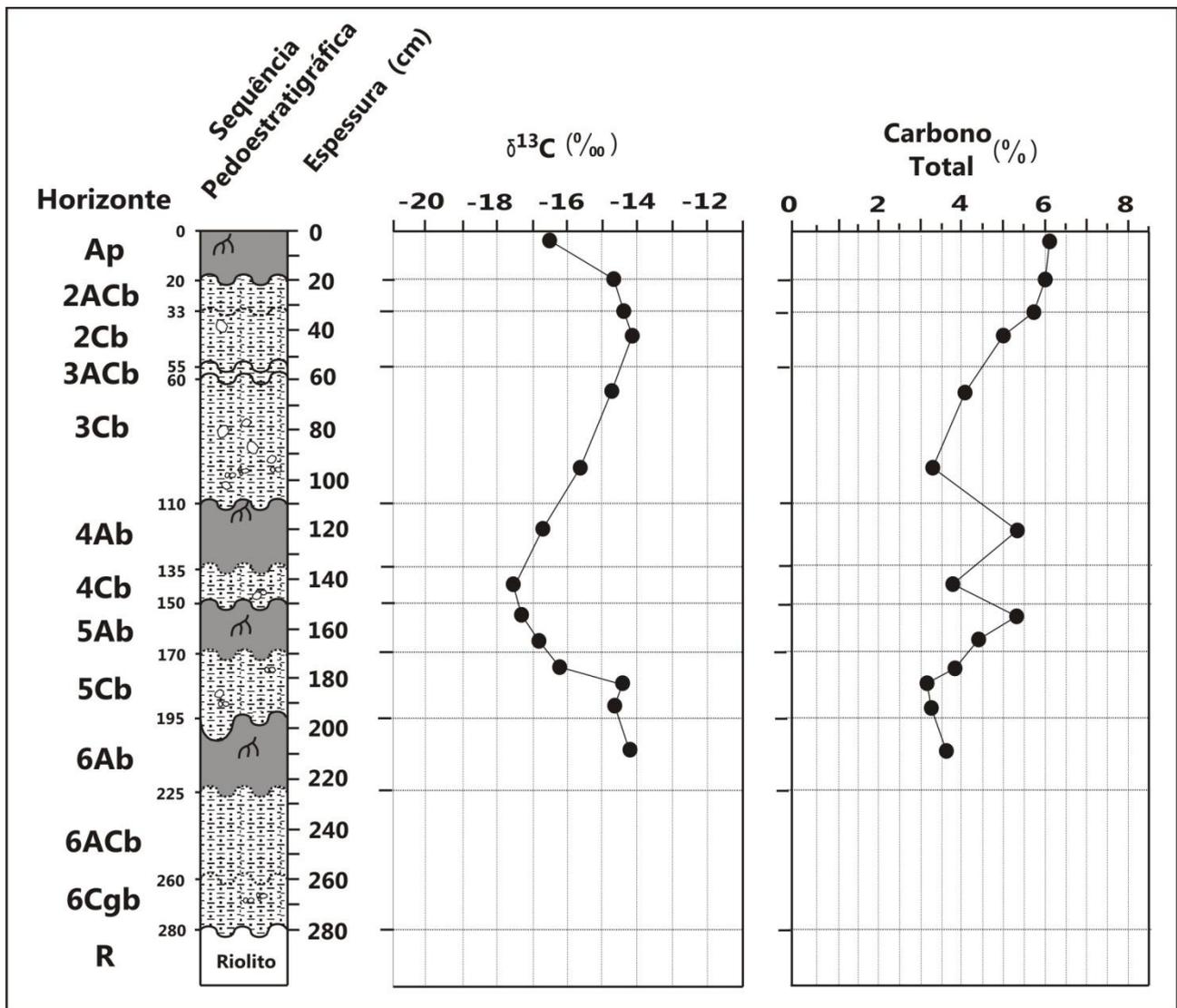


Figura 5. Conteúdos de  $\delta^{13}\text{C}$  e Carbono Total dos níveis pedostratigráficos.

Esses valores são sugestivos de predomínio de plantas com padrão fotossintético  $\text{C}_4$  (gramíneas – maioria das Poaceae), pois elas apresentam razão isotópica entre -17 a -9 ‰, em média -13 ‰, enquanto que plantas  $\text{C}_3$  (arbustos, arbóreas e algumas Poaceae) tem razão isotópica de -32 a -22 ‰, em média -27 ‰ (Pessenda et al., 1996; 2005). A sutil

variação dos valores para mais negativos pode refletir a mistura de matéria orgânica de Poaceae com espécies arbustivas (*Baccharis caprariifolia* DC e *Eryngium pandanifolium*), como é verificado nas áreas de campo moderno em regeneração (Paisani et al., 2013a), ou presença de gramíneas  $\text{C}_3$ .

### INTEGRAÇÃO DE RESULTADOS PEDOESTRATIGRÁFICOS, FITOLÍTICOS E ISOTÓPICOS DO CARBONO

A sequência pedostratigráfica da paleocabeceira de drenagem é constituída de materiais alóctones (horizontes C) e autóctones (horizonte A) (Figura 6). Fluxos de lama discretos foram responsáveis pelos materiais alóctones, enquanto que pausas na sedimentação possibilitaram a ação da pedogênese e o desenvolvimento dos horizontes

autóctones. Esse fenômeno se mostrou de forma cíclica durante o Último Interstadial (Figura 6). Durante o Último Máximo Glacial registra-se a manutenção da pedogênese e o fenômeno de erosão em taxa insuficientes para remover na íntegra o horizonte 4Ab. O lapso na sedimentação se estendeu até o Holoceno Inferior, uma vez que os materiais do horizonte

3Cb foram sedimentados durante o Holoceno Médio (Figura 6). Esse fato destoa do registro estratigráfico de outras seções descritas no sistema hidrográfico do rio Chopinzinho na superfície de Palmas/Água Doce, em que há registros de erosão/sedimentação nas encostas desde a passagem do Pleistoceno para o

Holoceno – Última Terminação (Paisani et al., 2012; 2013a; Guerra e Paisani, 2012; 2013; Fachin, 2013; Oliveira, 2014). É possível que tal fato expresse resposta diferenciada das áreas do sistema hidrográfico do rio Chapecó em relação às do rio Chopinzinho mediante a mudança paleoclimática da Última Terminação.

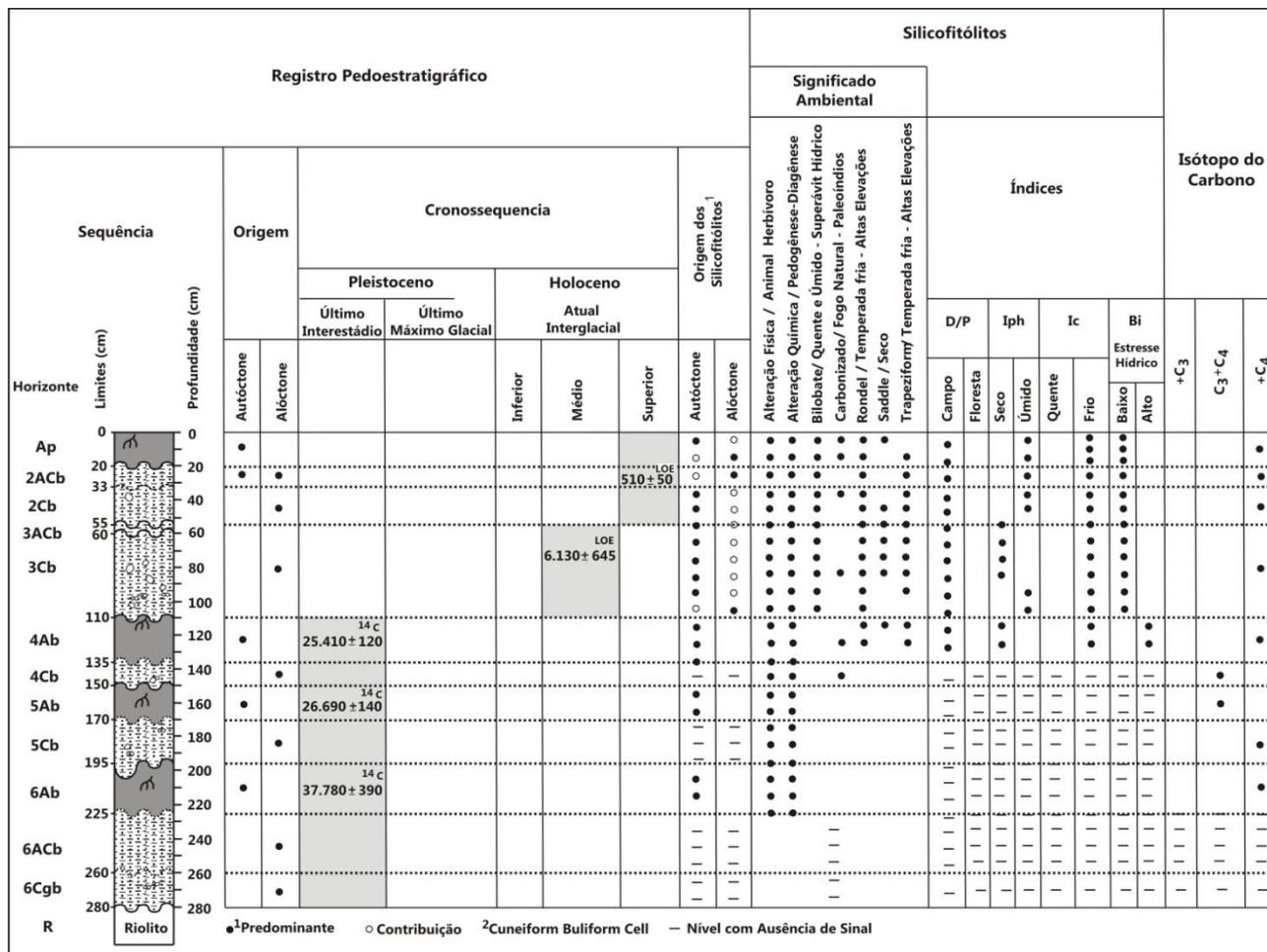


Figura 6. Síntese das informações do registro pedostratigráfico, fitolítico e isotópico do carbono.

Outro lapso na sedimentação é verificado entre o Holoceno Médio e o final do Superior, expresso pela transição erosiva entre os materiais dos horizontes 3Cb e 2Cb (Figura 6). A concentração de fitólitos em direção ao 3ACb, seguida pelo decréscimo dessa tendência para a superfície moderna (Figura 3), sugere que antes da sedimentação dos materiais do horizonte 2Cb houve o truncamento de uma sequência de horizontes 3A e 3AC. Nos últimos 500 anos esse fenômeno se repetiu em relação ao nível pedostratigráfico 2, cujo horizonte 2A foi erodido.

A origem dos fitólitos nesse contexto pedostratigráfico é inferida analisando os resultados da concentração versus a

identificação dos morfotipos (Figuras 6). A concentração mostra maior percentual de partículas de fitólitos em relação aos grãos minerais nos horizontes A, bem como na base do horizonte 2Cb e 3ACb. No caso dos horizontes A refletem sua proximidade com a vegetação que ocupou a superfície moderna e as paleosuperfícies. No caso da base do horizonte 2Cb expressa a mistura de materiais coletados em nível de transição entre este e o horizonte subjacente. Já no horizonte 3ACb sugere que havia uma zona de transição para um horizonte 3A que foi truncado pela erosão. Nesses casos os fitólitos autóctones seriam predominantes em face de vegetação que esteve ocupando duas gerações de superfícies,

uma estabelecida entre 6.130 a 500 anos AP e outra moderna situada antes do truncamento do nível pedostratigráfico 2. Nos demais níveis pedostratigráficos com horizonte A os fitólitos remanescentes devem ser de origem autóctones devido a sutil maior concentração (Figura 6).

A análise de morfotipos mostra predomínio de fitólitos de gramíneas (Poaceae) entre os horizontes Ap e 4Ab, o que é compatível com o índice D/P e a razão isotópica do carbono (Figura 6). Em todos os níveis pedostratigráficos há presença de fitólitos alterados física e quimicamente.

A alteração física e química da morfologia dos fitólitos decorre de processos deposicionais e pós-deposicionais (Osterrieth et al., 2009). Os alterados fisicamente podem expressar o desgaste por processos mecânicos de transporte, em que a tensão mecânica sofrida durante o transporte provoca seu rompimento (quebra), similarmente aos sedimentos clásticos (Osterrieth et al., 2009). No caso da paleocabeceira de drenagem estudada, os níveis pedostratigráficos derivam de sedimentos coluviais gerados por fluxos de lama discretos. Esse mecanismo de sedimentação reduz o atrito entre as partículas e a paleosuperfície, não sendo responsável pelos fitólitos alterados fisicamente.

Em outra seção pedostratigráfica situada em rampa de colúvios foi analisada a produção de fitólitos em fezes de vacas, e resultados preliminares mostram significativa produção de fitólitos alterados fisicamente (Figura 4). Esse fato leva a pensar que os fitólitos alterados fisicamente encontrados no registro pedostratigráfico da paleocabeceira de drenagem derivem do processo de mastigação durante a pastagem de animais herbívoros silvestres e subsequente deposição no solo face seu desprendimento dos bolos fecais estabelecidos sobre as paleosuperfícies (Paisani, 2015). Essa hipótese é compatível com o fato das áreas planálticas do sul do Brasil terem sido habitadas por animais herbívoros ao longo do Pleistoceno (Scherer e Rosa, 2003; Sedor et al., 2004; Scherer et al., 2007; Silva et al., 2012).

No caso da alteração química processos biogeoquímicos associados a pedogênese ou diagênese, podem atacar os fitólitos ao longo do tempo mediante condições pós-deposicionais de

pH extremos, promovendo a decomposição dos fitólitos encontrados em registros pedostratigráficos (Alexandre et al., 1997; 1999; Osterrieth et al., 2009; Costa et al., 2010). De fato, a análise de morfotipos de fitólitos segundo a profundidade do registro pedostratigráfico mostra predomínio de partículas alteradas química e fisicamente. Nos níveis de menor concentração de fitólitos (horizontes 4Ab a 6ACb) é compreensível, pois são antigos (> 25.000 anos AP) e perderam seu registro fitolítico com o tempo por degradação química, diante da manutenção de pH ácido uma vez que esses paleohorizontes evoluíram mediante a acidólise parcial (Paisani et al., 2014). No caso dos níveis mais superficiais estabelecidos nos últimos 6.130 e 510 anos AP (Figura 6), destaca-se os significativos percentuais de partículas alteradas, sobretudo, quimicamente nos horizontes Ap, 2ACb e 2Cb. Isso é incompatível com a baixa idade desses materiais coluviais (< 510 anos AP). Não haveria tempo suficiente para a corrosão dos fitólitos, sugerindo se tratarem de partículas previamente corroídas que foram envolvidas no material coluvial durante os fluxos de lama discretos (fitólitos alóctones).

Os carbonizados também são alterações dos fitólitos, porém mediante a queima (Figura 4). Essa classe apresenta baixo percentual nos níveis pedostratigráfico (Figura 3). Igualmente às anteriores, se destaca por apresentar significado ambiental, pois denuncia que as plantas contendo fitólitos passaram por uma ou mais fases de submissão ao fogo. Elas ocorrem nos níveis pedostratigráficos Ap, 2Cb (topo), 3Cb (centro), 4Ab e 4Cb. As partículas carbonizadas do nível Ap devem decorrer das periódicas queimadas promovidas pela ação antrópica como meio de manejo dos Campos para pastoreio moderno (Pillar et al., 2009). Já sua presença nos horizontes 2Cb e 3Cb, de forma descontínua, podem ter resultado tanto de incêndios provocados por paleoíndios (nomenclatura arqueológica – Araújo et al., 2013) antes da colonização no século XIX, quanto por incêndios naturais comuns a algumas áreas planálticas do Sul do Brasil, sobretudo, durante o Holoceno (Behling, 1997; Behling et al., 2004; Jeske-Pieruschka et al., 2010; Paisani et al., 2013a). Já a presença de fitólitos carbonizados nos horizontes 4Ab e

4Cb, deve ser exclusivamente relacionada a paleoincêndios naturais ocorridos durante o Último Máximo Glacial.

Os morfotipos de fitólitos que apresentam significado taxonômico pertencem à família Poaceae, sendo assim, acredita-se que a maioria dos fitólitos analisados foram produzidos por gramíneas C<sub>4</sub>, a exceção do *Rondel*, *Saddle* e *Trapeziform* que podem ter sido produzidos por gramíneas C<sub>3</sub> (Coe et al., 2014). Esses morfotipos são compatíveis com o sinal isotópico do carbono, que mostra predomínio de plantas C<sub>4</sub> ao longo do registro pedoestratigráfico e sutil mistura de plantas C<sub>4</sub> com C<sub>3</sub> nos níveis pedoestratigráficos 4Cb e 5Ab.

A presença desses morfotipos sugere que as condições ambientais foram continuamente frias desde o Último Interestadial, como também atesta o índice Ic (Figura 6). Quanto ao regime hídrico há uma aparente contradição devido a presença dos morfotipos *Bilobate* e *Saddle*, enquanto o primeiro indica condições ambientais úmidas o segundo indica déficit de umidade. Na realidade a mistura de fitólitos de origem alóctone e autóctone é responsável por tal contradição. De todo modo, a análise fitolítica mostra que há uma maior concentração de *Bilobate* justamente nos níveis

pedoestratigráficos em que se registra redução na concentração de *Saddle*, e vice-versa (Figura 3). Os índices Iph e Bi sugerem que o horizonte 4Ab passou por regime climático mais seco, com estresse hídrico (Figura 6). De fato tal horizonte foi truncado durante o Último Máximo sobre condições hidrológicas de escoamento concentrado, inferida como regime mais seco para o registro de outras seções pedoestratigráficas da área (Paisani et al., 2014; Paisani et al., 2016).

O mesmo não se verifica para o horizonte 3Cb, em que o Iph sugere ambiente mais seco, mas o Bi não registra estresse hídrico (Figura 6). Isso se deve ao baixo percentual de *Bulliformes* nesse nível pedoestratigráfico, o qual é indicativo do estresse hídrico. Mas, há significativos percentuais de *Saddle* (Figura 6), no centro e topo do horizonte 3Cb, sugerindo que o fluxo de lama discreto que gerou tal nível estratigráfico decorreu de um regime hidrológico mais úmido, possivelmente durante o Holoceno Inferior, sendo que após 6.130 anos AP o clima tornou-se mais seco favorecendo a produção de fitólitos de Chloridoideae. É possível que esse regime hídrico tenha perdurado até o estabelecimento do nível pedoestratigráfico 2, já no final do Holoceno Superior (> 1.000 anos AP).

## CONCLUSÕES

A sequência pedoestratigráfica da paleocabeceira de drenagem da superfície geomórfica de Palmas/Água Doce é constituída por horizontes alóctones (horizontes C) e autóctones (horizontes A) estabelecidos entre o Último Interestadial e o Holoceno Superior. Os horizontes alóctones foram gerados por fluxos de lama discretos nas encostas que circundam a paleocabeceira de drenagem. A aplicação da análise fitolítica no registro pedoestratigráfico de paleocabeceira de drenagem revelou que: a) a formação vegetal de Campo ocupou as encostas da área compreendida pela paleocabeceira de drenagem pelo menos do Último Interestadial ao Holoceno Superior; b) nos níveis pedoestratigráficos constituídos de

horizontes A predominam fitólitos gerados por vegetação que ocupou paleosuperfícies; c) nos níveis pedoestratigráficos coluviais, gerados por fluxos de lama discretos (horizontes C), há mistura de fitólitos gerados por vegetação que ocupou paleosuperfícies (autóctones) e fitólitos das encostas vizinhas que configuram como áreas fonte dos colúvios (alóctones); d) fitólitos alterados física e quimicamente predominam no registro pedoestratigráfico; e) fitólitos carbonizados indicam paleoincêndios tanto naturais quanto causados por paleoíndios; f) índices fitolíticos sugerem regime térmico contínuo frio desde o Último Interestadial, mais seco durante o Último Máximo Glacial e Holoceno Médio/Superior.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Proc. 300530/2012-9), a CAPES/PVE (Projeto n.144/2012), CAPES/PROAP/PPGGeo-UNIOESTE (FB) e a Fundação Araucária do Paraná (Convênios 1261/2012-Reitoria e 204/2012 - Campus) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; LÉZINE, A.M.; VINCENS, A.; SCWARTZ, D. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 136, p. 213-229. 1997.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D.; MARIOTTI, A.; SOUBIES, F. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 51, p. 187-194. 1999.
- ALVAREZ, M.F.; BORRELLI, N.; OSTERRIETH, M. Extracción de silicobolitos em distintos sedimentos utilizando dos técnicas básicas. **The phytolitharian Bulletin of the Society for Phytolith Research**, v.17, n.2, p.1-8, 2005.
- ARAUJO, A.G.M.; STRAUSS, A.M.; FEATHERS, J.K.; PAISANI, J.C.; SCHRAGE, T.J. Paleoindian opean-air sites in tropical settings: a case study in formation processes, dating methods, and paleoenvironmental models in Central Brazil. **Gearcheology: an International Journal**, v.28, p. 195-220, 2013.
- BARBONI, D., BREMOND, L., BONNEFILLE, R. Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 246, p. 454-470. 2007.
- BARBONI, D.; BONNEFILLE, R.; ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.D. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley Ethiopia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 152, n. 1, p.87- 100, 1999.
- BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná States (South Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 97, p. 109-121, 1997.
- BEHLING, H.; PILLAR, V.D.; ORLÓCI, L.; BAUERMANN, S.G. Late Quaternary *Araucaria* forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 204, 277-297, 2004.
- BIRKELAND, P.W. **Soils and Geomorphology**. Oxford University Press, 1999.
- 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.
- 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, p. 277-293. 2005a.
- BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; PEYRON, O.; GUIOT, J. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. **Journal of Biogeography**, v. 32, p.311-327. 2005b.
- CALEGARI, M. R. **Ocorrência e Significado Paleoambiental do Horizonte A Húmico em Latossolos**. Piracicaba, SP, 2008, 259 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ, Universidade de São Paulo - USP.
- CALEGARI, M.R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; OTERO, X.L.; MACIAS, F.; OSTERRIETH, M. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, v.287, p.56-62, 2013. doi:1016/j.quaint.2011.11.005
- CECCHET, F. A. **Análise de fitólitos aplicada a reconstrução paleoambiental (Vegetação e Clima) na superfície de Palmas/Água Doce**, Francisco Beltrão, PR, 2015. 99p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão.
- COE, H.E.G.; OSTERRIETH, M.; HONAINÉ, M.F. Phytoliths and their applications. In: COE, H.E.G.; OSTERRIETH, M. (Org.) **Synthesis of some phytolith studies in South America (Brazil and Argentina)**, **Botanical Research and Practices**. New York: Nova, p.1-26, 2014.
- COE, H.H.G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios / Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário Niterói**, 2009. 300 p. Tese (Doutorado em Geologia Marinha), Universidade Federal Fluminense.
- COSTA, L.M. *et al.* Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 871-879, 2010.
- EWALD, P.L.L.F. **Análise da assembléia fitolítica do solo aplicada no Holoceno Médio: caso da Estação Ecológica da Mata Preta- Abelardo Luz**, Francisco Beltrão, PR, 2015. 114p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão.
- FACHIN, A. **Quadro evolutivo de paleocabeceira de drenagem do rio Chopinzinho - Planalto das Araucárias (Superfície 2)**, Francisco Beltrão, PR, 2013. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão.

21. GUERRA, S. & PAISANI, J.C. Abrangência espacial e temporal da morfogênese e pedogênese no Planalto de Palmas (PR) e Água Doce (SC): subsídio ao estudo da evolução da paisagem quaternária. **Geociências**, v. 32, n.3, p.501-515, 2013.
22. GUERRA, S. & PAISANI, J.C. Levantamento estratigráfico das formações superficiais Cenozóicas no Planalto de Palmas (PR) e Água Doce (SC): subsídio ao estudo da evolução da paisagem a partir do Estádio Isotópico Marinho 3. **Ambiência**, v.8 (Special Issue -I), p.651-665, 2012. doi:10.5777/ambiência.2012.05.03
23. JESKE-PIERUSCHKA, V.; FIDELIS, A.; BERGAMIN, R.S.; VÉLEZ, E.; BEHLING, H. Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in Southern Brazil based on fossil and modern pollen data. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 160, p.53-65, 2010.
24. LUZ, L.D.; KALINOVSKI, E.C.Z.; PAROLIN, M.; SOUZA FILHO, E.E. Estádio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terrae Didática**, v.11, n.1, p.52-64, 2015.
25. MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: Jose Olympio, 1981.
26. MAACK, R. Notas complementares à apresentação preliminar do mapa fitogeográfico do Estado do Paraná (Brasil). **Arquivos do Museu Paranaense**, VII, p.351-361, 1949.
27. MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. **Arquivo de Biologia e Tecnologia**, v. 3, p. 103-226, 1948.
28. MADELLA, M. & LANDELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: a user manual. **Quaternary International**, v.275, p.76-83, 2012. doi:10.1016/j.quaint.2011.09.008
29. MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN 1.0). **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n.2, p. 253–260, 2005.
30. MCCLARAN, M. P.; UMLAUF, M. Desert grassland dynamics estimated from Carbon Isotopes in grass phytolith and soil organic matter. **Journal of Vegetation Science**, v.11,nº1.p.71-76, 2000.
31. OLIVEIRA, L. **Evolução de pequeno leque aluvial quaternário no Planalto das Araucárias (Superfície 2)**. Francisco Beltrão, PR, 2014. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão.
32. OLIVEIRA, M.A.T; BEHLING, H.; PESSENDA, L.C.R. Late- Pleistocene and Middle-Holocene environmental changes in highland valley head areas of Santa Catarina, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 26; p. 55-67, 2008.
33. OSTERRIETH, M.L.; MADELLA, M.; ZURRO, D.; ALVAREZ, M.F. Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**, v.193, p. 70-79, 2009.
34. PAISANI, S.D.L. **Significado paleoambiental de silicofitólitos em rampa de colúvio e paleocabeceira de drenagem na superfície de Palmas-Água Doce**. Francisco Beltrão, PR, 2015. 101p. Dissertação (Mestrado em Geografia).
35. PAISANI, J.C. PONTELLI, M.E.; OSTERRIETH, M.L.; PAISANI, S.D.L.; FACHIN, A.; GUERRA, S.; OLIVEIRA, L. Paleosols in low-order streams and valley heads in the Araucaria Plateau - record of continental environmental conditions in southern Brazil at the end of MIS 3. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 54, p. 57-70, 2014. doi: 10.1016/j.jsames.2014.04.005
36. PAISANI, J.C., PONTELLI, M.E., CALEGARI, M.R. Evolução de bacias de baixa ordem nos 41.000 anos AP – Brasil Meridional. **Revista Mercator**, v.11, 131–148, 2012. doi:10.4215/RM2012.1126.0009
37. PAISANI, J.C.; CALEGARI, M.R.; PONTELLI, M.E.; PESSENDA, L.C.R.; CÔRREA, A.C.B.; PAISANI, S.D.L.; RAITZ, E. O papel das mudanças climáticas do quaternário superior na dinâmica evolutiva de paleovale de segunda ordem (sul do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, p. 103-116, 2013a.
38. PAISANI, J.C.; FACHIN, A.; PAISANI, S.D.L.; PONTELLI, M.E.; OSTERRIETH, M.L.; FUJITA, R.H. Evolução de paleocabeceira de drenagem do Rio Chopinzinho ( Sul do Brasil) durante o Quaternário Superior. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.17, n.1, 2016, *no prelo*.
39. PAISANI, J.C.; PONTELLI, M.E.; CÔRREA, A.C.B.; RODRIGUES, R.A.R. Pedogeochemistry and micromorphology of oxisols - a basis for understanding etchplanation in the Araucárias Plateau (Southern Brazil) in the Late Quaternary. **Journal of South American Earth Sciences**, v.48, p. 1-12, 2013b. doi.org/10.1016/j.jsames.2013.07.011.
40. PEREIRA, J. S.; GUERRA, S. Caracterização estratigráfica de cabeceira de drenagem localizada no Planalto das Araucárias Sul do Brasil. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 32-32, 2014.
41. PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R; VALENCIA, E.P.E.; TOMAZELLO, M. The use of carbono isotopes (13C,14C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil. **Radiocarbon**, v.38, n.2, p.191-201, 1996.
42. PESSENDA, L.C.R.; GOUVEIA, S.E.M.; FREITAS, H.A.; RIBEIRO, A.S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J.A.; LEDRU, M.P.; SIEFEDDINE, A.F.; SCHEEL-YBERT, R. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: Souza, Celia.R.G. *et al.* (Eds.), **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, Brazil, p. 75-93, 2005.
43. PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S.; JACQUES, A.V.A. (Eds.) **Campos Sulinos – conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA/SBF/DCB, 2009.
44. PIPERNO, D.R. **Phytolith analysis: an archaeological and geological perspective**. Academic Press, San Diego, 1988.
45. PIPERNO, D.R. **Phytolith: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Lanham MD, Atlas Mira Press, 2006.
46. RAITZ, E. **Coleção de referência de silicofitólitos da flora do sudoeste do Paraná: subsídios para estudos paleoambientais**. Francisco Beltrão, 2012. 153 p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade

Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Francisco Beltrão.

47. RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, n.24, p. 75-92, 2002.

48. ROVNER, I. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. **Quaternary Research**, v.1, p.343-359, 1971.

49. SALGADO-LABOURIAU, M.L. **Critérios e técnicas para o Quaternário**. São Paulo:Edgard Blücher, 2007.

50. SANTA CATARINA. **Atlas de Santa Catarina**. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática, 1 atlas. Escalas variadas, 1986.

51. SCHAETZL, R., ANDERSON, S. **Soil: genesis and geomorphology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

52. SCHERER, C.S.; ROSA, A.A.S. Um equídeo fóssil do Pleistoceno de Alegrete, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v.30, n.2, p.33-38, 2003.

53. SCHERER, C.S.; FERIGOLO, J.; RIBEIRO, A.M.; GUERRA, C.C. Contribution to the knowledge of *Hemiauchenia Paradoxa* (Artiodactyla, Camelidae) from the Pleistocene of Southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia** v.10, n.1, p.32-52, 2007.

54. SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre:Sociedade Brasileira de Geologia, 1974,p.41-65.

55. SCOTT, L. Grassland development Under Glacial and Interglacial condition in Southern Africa: review of pollen, phytolith and isotope evidence. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, palaeoecology**. v.177, p. 47-57, 2002.

56. SEDOR, F.A.; BORN, P.A.; SANTOS, F.M.S. Fósseis pleistocênicos de *Scelidodon* (Mylodontidae) e *Tapirus* (Tapiridae) em cavernas paranaenses (PR, sul do Brasil). **Acta Biológica Paranaense**, v.33, n.1,2,3,4, p.121-128, 2004.

57. SILVA, D. D.; SEDOR, F.A.; RIBEIRO, A.M. *EQUUS (AMERHIPPIUS) NEOGAEUS* LUND, 1840 (PERISSODACTYLA, EQUIDAE) no Quaternário do estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia** v.15, n.3, p.336-344, 2012.

58. SMITH, F.A.; WHITE, J.W.C. Modern calibration of phytolith Carbon Isotope signatures for C<sub>3</sub> /C<sub>4</sub> paleograssland reconstruction. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, palaeoecology**. v. 207, p.277-304, 2004. doi:10.1016/j.palaeo.2003.09.029.

59. TWISS, C. 1986. Predicted world distribution of C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> grass phytolith . In: Rapp Jr. G, & Mulholland, S. C. (eds.), **Phytolith Systematics**. Plenum Press, New York, pp. 113-128, 1992.

60. TWISS, C.; SUESS, E.; SMITH, R. M. Morphological classification of grass phytoliths. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, p.109-115, 1969.

61. TWISS, C. Predicted world distribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grass phytolith. In: RAPP, G. & MULHOLLAND, S.C. (Eds) **Phytolith systematics**. Emerging Issues, Advances in Archeological and Museum Science, p.113-128, 1992.

*Manuscrito recebido em: 22 de Setembro de 2015*

*Revisado e Aceito em: 24 de Abril de 2016*