

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – STRICTU SENSO**

PAULA LOUISE DE LIMA FELIPE EWALD

**ANÁLISE DA ASSEMBLEIA FITOLÍTICA DO SOLO APLICADA NO HOLOCENO
MÉDIO: CASO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DA MATA PRETA – ABELARDO LUZ
(SC)**

**FRANCISCO BELTRÃO – PR
2015**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – STRICTU SENSO**

PAULA LOUISE DE LIMA FELIPE EWALD

**ANÁLISE DA ASSEMBLEIA FITOLÍTICA DO SOLO APLICADA NO HOLOCENO
MÉDIO: CASO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DA MATA PRETA – ABELARDO LUZ
(SC)**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia, área de concentração “Produção do Espaço e Meio Ambiente” do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Marcia Regina Calegari

**FRANCISCO BELTRÃO – PR
2015**

Catálogo na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas - UNIOESTE – Campus Francisco Beltrão

E94a Ewald, Paula Louise de Lima Felipe
Análise da assembleia fitolítica do solo aplicada no
holoceno médio: caso da Estação Ecológica da Mata Preta –
Abelardo Luz (SC). / Paula Louise de Lima Felipe Ewald. –
Francisco Beltrão, 2015.
111 f.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marcia Regina Calegari.
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade
Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Francisco Beltrão.

1. Ciência do solo. 2. Vegetação – Classificação. I.
Calegari, Marcia Regina. II. Título.

CDD 20. ed.– 631.4

Sandra Regina Mendonça CRB – 9/1090

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ/ UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – NÍVEL DE MESTRADO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

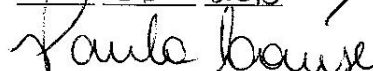
ANÁLISE DA ASSEMBLEIA FITOLÍTICA DO SOLO APLICADA NO
HOLOCENO MÉDIO: CASO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DA MATA
PRETA – ABELARDO LUZ (SC)

Autora: Paula Louíse de Lima Felipe Ewald

Orientadora: Profa. Dra. Marcia Regina Calegari

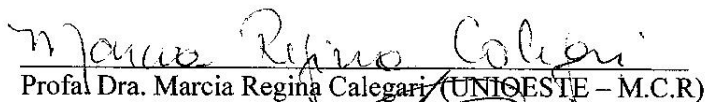
Este exemplar corresponde à redação final da
Dissertação defendida por Paula Louíse de Lima Felipe
Ewald e aprovada pela comissão julgadora.

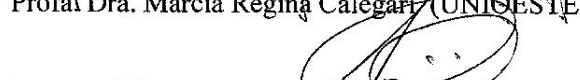
Data: 02/06/2015





Paula Louíse de Lima Felipe Ewald

Comissão Julgadora:


Profa. Dra. Marcia Regina Calegari (UNIOESTE – M.C.R)


Prof. Dr. Julio Cesar Paisani (UNIOESTE – F.B)


Profa. Dra. Margarita Luisa Osterrieth (Universidad Nacional
de Mar del Plata)


Prof. Dr. Pablo Vidal Torrado (ESALQ/ USP)

AGRADECIMENTOS

Ao Deus criador do universo, por sustentar a Terra e tudo que há nela. Por me permitir conhecer um pequeno detalhe da sua criação (os fitólitos), o que aumentou minha convicção de que nada existiu do acaso, mas é fruto da sua complexa e soberana vontade.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Sidinei e Leonice, pelo exemplo da persistência. Por me mostrar que lutar, consertar e continuar, vale à pena.

Ao meu esposo Karl, por sustentar minhas escolhas quando eu desanimei e me perdi... Por ser como é, abraço, carinho, cuidado e amor.

Às minhas amigas do Ap. 05, pelo suporte durante esses dois anos... À Fernanda pela grande ajuda na pesquisa, Luciane pela companhia, Daiana pelo compartilhamento de ideias, alegrias, medos. Vocês são especiais!

À minha orientadora, Dra. Marcia Regina Calegari, por idealizar a pesquisa, pelo tempo a mim dispensado: nas aulas, no campo, orientações, correções... Por não deixar a peteca cair!

Aos professores Dr. Pablo Vidal Torrado e Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda pelo suporte nas análises de ataque sulfúrico e isotópicas.

Aos professores Dr. Julio Cesar Paisani e Dra. Marga Elis Pontelli pelo apoio no Laboratório de Formações Superficiais e pelo apoio financeiro através de seus projetos.

À banca de qualificação, Prof. Dra. Marcia Regina Calegari, Dr. Julio Cesar Paisani e Dra. Margarita Osterrieth, assim como ao Prof. Dr. Marco Madella pelas contribuições à pesquisa.

Ao Dr. Rodrigo Santana Macedo pela ajuda com a mineralogia, pelas ideias e contribuição ao estudo.

Ao ICMBio pela autorização para o desenvolvimento da pesquisa na Estação Ecológica Mata Preta em Abelardo Luz (SC) (Número da autorização: 41601-1; Emissão: 07/11/2013; Revalidação: 07/12/2014) e a Fazenda Madepar por autorizar nossa entrada na propriedade.

Ao chefe da ESEC Mata Preta, Fábio Moreira Corrêa e ao biólogo Antônio Correa Junior por acompanhar o campo, pelo transporte e atenção dentro da ESEC Preta.

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Francisco Beltrão, pela estrutura disponibilizada durante o período do mestrado.

Ao Laboratório de Física do Solo (UNIOESTE-MCR) pelo apoio e disponibilização de sua estrutura.

À CAPES pelo suporte financeiro através da concessão da bolsa de pós-graduação (mestrado).

A todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Muito Obrigada!

RESUMO

No período Quaternário, o Sul do Brasil passou por instabilidades paleoclimáticas que geraram mudanças nas paisagens. Estudos pedológicos, sedimentológicos e de reconstrução paleoambiental têm sido desenvolvidos pelo grupo Gênese e Evolução de Superfícies Geomórficas e Formações Superficiais (UNIOESTE-FB) para investigar a influência paleoclimática na configuração da paisagem do Sudoeste do Paraná e Noroeste de Santa Catarina. Visando contribuir com estes estudos, a presente pesquisa buscou investigar a evolução da vegetação na Estação Ecológica Mata Preta em Abelardo Luz (SC) e verificar a hipótese de ocorrência de trocas de vegetação ao longo do Holoceno na área estudada. Especificamente, objetivou-se determinar a assinatura fitolítica da vegetação atual e avaliar a sua variabilidade nos horizontes superficiais do solo sob a Floresta Ombrófila Mista FOM (Mata de Araucária) e conhecer a trajetória histórica das mudanças da vegetação da área de estudo durante a Época Holocênica. Foram empregadas análises físicas e químicas de rotina para caracterização de um perfil de solo e análises fitolíticas e isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo e datação ^{14}C da fração húmica) em um perfil de solo (Perfil 1) e em três Pontos de Controle (PC1, PC2 e PC3). As análises físicas e químicas do solo permitiram classificar o solo estudado como um CAMBISSOLO HÚMICO. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica do solo (MOS) apontaram para uma troca de vegetação entre o Holoceno Médio e o Superior e a assembleia fitolítica do solo permitiu o refinamento dessa interpretação. Assim é possível inferir que este solo registra uma fase em que a vegetação era formada por uma comunidade predominantemente de plantas C_4 (vegetação mais aberta que a atual), no Holoceno Médio/Inferior (6.235-6.215 anos Cal. AP), evoluindo para uma vegetação mista, mais florestada e semelhante à atual, composta predominantemente por plantas C_3 no Holoceno Superior (de 840 e 835 anos cal. A.P) que evoluiu para a atual FOM. Com base na assembleia fitolítica da serrapilheira e das camadas superficiais do Perfil de CAMBISSOLO e dos PC, definiu-se a assinatura fitolítica da FOM, que é formada por 14 morfotipos de fitólitos representativos das famílias Poaceae (subfamílias *Panicoid*; *Pooid*; *Chloridoid* e *Bambusoid*), Eudicotiledoneae, Arecaceae e Cyperaceae.

Palavras-Chave: Quaternário. Reconstrução Paleoambiental. Análise fitolítica. Análise isotópica. Datação ^{14}C .

**ANALYSIS OF SOIL PHYTOLITH ASSEMBLAGE APPLIED TO THE MIDDLE-
HOLOCENE: CASE OF THE MATA PRETA ECOLOGICAL STATION -
ABELARDO LUZ (SC)**

ABSTRACT

In the Quaternary period, the south of Brazil has suffered from paleoclimate instabilities which have generated changes in the landscape. Pedological, sedimentological and paleoenvironmental reconstructions studies have been developed by the group Gênese e Evolução de Superfícies Geomórficas e Formações Superficiais - UNIOESTE-FB to investigate the paleoclimate influence on the landscape setting of the Southwest region in Paraná and Northwest region in Santa Catarina States. Aiming to contribute with these studies, this research has sought to investigate the evolution of the vegetation at Ecological Station Mata Preta in Abelardo Luz (Santa Catarina State) and to verify the hypothesis of occurrence of vegetation changes over the Holocene in the studied area. Specifically, the goal was to determine the phytolith signature of the current vegetation and to assess its variability in the superficial soil horizons under the Mixed Ombrophylous Forest (FOM - Araucaria Forest) and to know the historical trajectory of the changes in the vegetation of the area of study during the Holocene Era. Routine physical and chemical analyses have been used to characterize a soil profile and phytolith and isotopic analyses ($\delta^{13}\text{C}$ of the soil organic matter - SOM and datation ^{14}C of humin fraction) in a soil profile (Profile 1) and more three Control Points (PC1, PC2 and PC3). The physical and chemical analyses of the soil allowed the classification of the studied soil as a Humic Dystrophic Inceptisol. The values of $\delta^{13}\text{C}$ of the SOM pointed to a vegetation change between the Middle Holecene and the Late and the phytolith assembly of the soil allowed the refining of this interpretation. Thus, it is possible to infer that his soil registers a period during which the vegetation was formed by a prevailing community of C_4 plants (more open than the current one), in the Middle/Early Holocene (6.235-6.215 years Cal. AP), evolving to a mixed vegetation, more forested and similar to the current one, composed, predominantly, of C_3 plants, in the Late Holocene (from 840 to 835 years cal. A.P.) which evolved to the current FOM. Based on the litterphytolith assemblage and on the superficial layers of the Inceptisol and the PC's, it has been defined the phytolith signature of the FOM, which is formed by 14 morphotypes of phytoliths which represent the families of Poaceae (subfamilies *Panicoid*; *Pooid*; *Chloridoid* and *Bambusoid*), Eudicotiledoneae, Arecaceae and Cyperaceae.

Key words: Quaternary. Paleoenvironmental Reconstruction. Phytolith analysis. Isotopic analysis. Datation ^{14}C .

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Evolução histórica da vegetação nos estados do Paraná e Santa Catarina (Período Holocênico).	19
Quadro 2: Representação esquemática dos grupos de morfotipos com significado taxômico e ecológico adotado (Adaptado de Calegari, 2008)	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista no Brasil (Fonte: HUECK, 1953).	21
Figura 2: Diagrama teórico dos processos tafonômicos da história deposicional e pós-deposicional dos fitólitos em depósito de <i>loess</i> .	31
Figura 3: Localização da Área de Estudo fragmento 3 da ESEC Mata Preta e pontos de amostragem e coleta (Perfil 1 e seções de controle PC1, PC2 e PC3).	43
Figura 4: Localização da área de estudo na Superfície V – 1º Superfície Interplanáltica de Clevelândia, Honório Serpa, Mangueirinha, Candói e Guarapuava. Fonte: Lima, 2013 (adaptado).	45
Figura 8: Aspecto da vegetação no interior do fragmento 3 da ESEC Mata Preta. A) Aspecto da vegetação próximo ao lago. B) Aspecto do interior da vegetação. C) Aspecto geral da vegetação da ESEC Mata Preta	48
Figura 5: Mapa Hipsométrico do fragmento 3 da ESEC Mata Preta.	49
Figura 6: Mapa de declividade do fragmento 3 da ESEC Mata Preta	50
Figura 7: Bloco diagrama do fragmento 3 da ESEC Mata Preta	51
Figura 9: Clareira próximo a estrada no interior do fragmento 3 da ESEC Mata Preta. Área anteriormente explorada para retirada da madeira.	52
Figura 10: Climograma Estação Meteorológica de Palmas (PR) - 1970-2014.	52
Figura 11: Perfil de solo e aspecto da vegetação.	59
Figura 12: Distribuição do COT e Delta C-13 no CAMBISSOLO HÚMICO.	62
Figura 13: Distribuição dos fitólitos identificados organizados por grupo taxonômico.	77
Figura 14: Análise de Componentes Principais (PCA) da assembleia de fitólitos (em porcentagem) do perfil de CAMBISSOLO HÚMICO	80
Figura 15: Análise de Componentes Principais (PCA) da assembleia de fitólitos (em porcentagem) da serapilheira e das amostras superficiais do perfil de CAMBISSOLO e dos pontos de controle.	81
Figura 16: Análise de Agrupamento Hierárquico através do Método Ward da assembleia de fitólitos (em porcentagem) do perfil de CAMBISSOLO HÚMICO.	82
Figura 17: Análise de Agrupamento Hierárquico através do Método Ward da assembleia de fitólitos (em porcentagem) da serapilheira e das amostras superficiais do perfil de CAMBISSOLO HÚMICO e dos pontos de controle (PC's).	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Atributos Físicos CAMBISSOLO HÚMICO distrófico léptico	60
Tabela 2: Atributos químicos e ataque sulfúricos – Perfil CAMBISSOLO HÚMICO distrófico léptico	105
Tabela 3: Granulometria dos perfis de controle	61
Tabela 4: Datação ^{14}C da fração humina do CAMBISSOLO HÚMICO.....	63
Tabela 5: Valores de Carbono Orgânico Total (COT e $\delta^{13}\text{C}$).....	63
Tabela 6: Abundância de fitólitos na assembleia da serapilheira e do solo (em frequência absoluta e relativa %) do Perfil 1.....	65
Tabela 7: Abundância de fitólitos na assembleia da serapilheira e do solo (em frequência absoluta e relativa %) dos Pontos de controle (PC's).....	66
Tabela 8: Índices fitolíticos - Perfil 1	84

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. TROCAS DE VEGETAÇÃO NO SUL DO BRASIL DURANTE A ÉPOCA HOLOCÊNICA (PERÍODO QUATERNÁRIO).....	15
2.2. FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (FOM)	20
2.3. O SOLO: REGISTRO DE MUDANÇAS AMBIENTAIS	25
2.4. FITÓLITOS	27
2.4.1 Produção de fitólitos nas plantas e deposição no solo	28
2.4.2. Fitólitos como marcadores ambientais (<i>Proxy</i>).....	33
2.4.3. Índices fitolíticos	36
2.5. ANÁLISE ISOTÓPICA ($\delta^{13}C$) DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	38
2.6. DATAÇÃO ^{14}C	40
3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: ASPECTOS REGIONAIS.....	44
3.2.1 Geologia	44
3.2.2. Geomorfologia e Hidrografia	44
3.2.3. Solos	46
3.2.4. Vegetação	46
3.2.5. Clima	47
3.3. ESEC DA MATA PRETA: FINALIDADES E CARACTERÍSTICAS LOCAIS.....	47
3.3.1.Finalidades	47
3.3.2. Aspectos do Meio Natural na ESEC Mata Preta.....	48
4. MATERIAIS E MÉTODO	54
4.1. COLETA DE DESCRIÇÃO DO SOLO	54
4.2. ANÁLISES FÍSICAS DE ROTINA	54
4.2.1. Análise Granulométrica e Argila Dispersa em Água (ADA).....	54
4.2.2 Densidade do Solo.....	55
4.3. ANÁLISES QUÍMICAS DE ROTINA	55
4.3.1. Macro e Micronutrientes	55
4.3.2 Ataque Sulfúrico	55
4.4. COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA ($\delta^{13}C$), DETERMINAÇÃO DO CARBONO TOTAL E DA CRONOLOGIA	56
4.5. EXTRAÇÃO DE FITÓLITOS	56
4.6. CONTAGEM, IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO E DE FITÓLITOS	57
4.7 ÍNDICES FITOLÍTICOS	58
5. RESULTADOS	59
5.1 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO	59
5.2. CARBONO TOTAL A ANÁLISE ISOTÓPICA ($\Delta^{13}C$)	62
5.3.ANÁLISE FITOLÍTICA	64
5.3.1. Assembleia de fitólitos do solo	64
5.3.2. ANÁLISE MULTIVARIADA.....	79
5.3.2.1. Análise de Componentes Principais – PCA	79
5.3.2.2 Análise de Agrupamento Hierárquico – Cluster.....	82
5.3.3. Índices fitolíticos	84
5.4. ZONAS FITOLÍTICAS	85
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	76

6.1. ATRIBUTOS MACROMORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO	76
6.2. INTEPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL DA TRAJETPORA DA VEGETAÇÃO: DO HOLOCENO MÉDIO AOS DIAS ATUAIS.....	77
6.4. ASSINATURA FITOLÍTICA	82
7. CONCLUSÕES	84
REFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
APÊNDICES	101
ANEXOS	111

1. INTRODUÇÃO

A sucessão de períodos glaciais e interglaciais durante o Período Quaternário promoveu grandes mudanças ambientais, tanto climáticas como geomorfológicas, resultando também em mudanças na cobertura vegetal da Terra, cuja distribuição atual dos Biomas, reflexo da instabilidade paleoclimatológica, pode ter sido elaborada na passagem do Terciário para o Quaternário (AB'SÁBER, 1961; OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos em todo o Brasil com a finalidade de investigar as instabilidades paleoclimatológicas e seus efeitos na cobertura vegetal (por exemplo, SERVANT *et al.*, 1993; BEHLING, 1995; SALGADO-LABORIAU, 1998; SUGUIO, 1999; BEHLING, 1997, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2005; CALEGARI, 2008; PESSEDA, 2008, entre outros).

Nas regiões Sudoeste do Paraná e Noroeste de Santa Catarina, a dinâmica paleoambiental tem sido investigada através de estudos geomorfológicos, pedológicos, sedimentológicos e de reconstrução paleoambiental. Inicialmente, constatou-se que as áreas de topo de vertente dessas regiões se ordenam em escadaria de Leste para Oeste e correspondem aos remanescentes de oito superfícies incompletamente aplainadas (PAISANI *et al.*, 2008). Para compreensão da gênese e evolução dessas superfícies, é necessária realização de estudos detalhados de cada uma delas. Neste sentido, deu-se início a um conjunto de estudos de detalhe, empregando técnicas e princípios de enfoque geológicos e geomorfológicos (PAISANI *et al.*, 2008; LIMA, 2013; GUERRA, 2012; PAISANI, PONTELLI e FACHIN, 2012; FACHIN, 2013; PAISANI *et al.*, 2014; OLIVEIRA, 2014), pedológicos (GEREMIA, 2009; BRAGAS, 2010; PONTELLI, BRAGAS e PAISANI, 2011; RODRIGUES, 2011), paleobotânica/reconstrução paleoambiental (BERTOLDO 2010; BERTOLDO *et al.*, 2014; CALEGARI *et al.* 2014; RAITZ, 2012).

Mesmo com esses trabalhos, constatou-se a necessidade de mais estudos de reconstrução da paleovegetação, para obter mais dados que permitam identificar padrões e condições da vegetação nas áreas das superfícies geomórficas definidas por Paisani *et al.* (2008).

No presente trabalho a análise fitolítica, associada à análise isotópica da matéria orgânica do solo ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C) e aos atributos físicos e químicos dos solos são usados para investigar a evolução da vegetação na área da Estação Ecológica ESEC Mata Preta, inserida na Superfície geomórfica incompletamente aplainada V (PAISANI *et al.*, 2008), em Abelardo Luz – SC e para verificar a hipótese de ocorrência de trocas de vegetação na área estudada,

uma vez que estudos desenvolvidos em áreas próximas já atestaram essas mudanças na composição da vegetação (BEHLING, 1997; 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2006; CALEGARI, 2008; BAUERMANN e BEHLING, 2009; JARENKOW e BUDKE, 2009; PAISANI *et al.*, 2013; BERTOLDO *et al.*, 2014; PAISANI *et al.*, 2014)

O uso combinado de *proxies* permite reconhecer e reconstruir padrões de mudanças pretéritas na vegetação, influências humanas sobre o meio ambiente, dieta humana e uso da planta (PIPERNO, 2006). A análise fitolítica é uma técnica complementar àquelas que classicamente vêm sendo usada nos estudos de reconstrução da paleovegetação, isto é, a palinologia e a análise isotópica. Consiste no estudo de corpos de sílicas (partículas inorgânicas) de tamanho microscópico, produzidos por plantas durante seu ciclo vegetativo que, com a morte da planta, são depositados em solos e sedimentos (ROVNER, 1971; PEARSAL, 1982; PIPERNO 1988; ALBERT, 1995).

As variações regionais no clima, na distribuição das chuvas, solos e outros fatores biológicos podem influenciar na abundância, nas características morfológicas e na preservação dos fitólitos de *taxa* específicos (BOYD *et al.*, 1998) nos solos. Coleções comparativas de assembleias de fitólitos de plantas e de análogos modernos de solo também são fundamentais no estabelecimento dos padrões e condições de vegetação específicas (BOYD *et al.*, 1998; MORRIS *et al.*, 2009; IRIARTE e PAZ, 2009; PIPERNO, 2006).

A durabilidade e a resistência dos fitólitos, somados as morfologias específicas que reproduzem o tecido celular de suas plantas produtoras, são características que fazem desse *proxy* uma ferramenta muito eficaz na obtenção de informações sobre a paleovegetação de uma área (ALBERT, 2006).

A combinação dos resultados obtidos por meio da análise fitolítica e da análise isotópica da matéria orgânica do solo – MOS ($\delta^{13}\text{C}$ ^{14}C) marca a incorporação dessas técnicas ao rol daquelas já empregadas pelo grupo Gênese e Evolução de Superfícies Geomórficas e Formações Superficiais – GESGFS - da UNIOESTE, visando obter novos dados que permitam entender as lacunas que ainda existem no entendimento da evolução da paisagem da superfície V, mais especificamente na região Noroeste de Santa Catarina.

A utilização dos fitólitos como fonte de informação paleoambiental é vantajosa porque além de sua durabilidade, sua produção em grande quantidade de plantas permite a diferenciação entre famílias e entre estruturas vegetacionais (por exemplo, Floresta x Campo, Floresta x Cerrado). No Sul do Brasil, a Floresta Ombrófila Mista - FOM (Mata de Araucária) e os campos compõem um mosaico que caracteriza a vegetação no Planalto Meridional. Fases de expansão da floresta em detrimento das áreas de campo são frequentemente relatadas na

literatura (BEHLING, 1997; 2002; BEHLING, PILLAR, 2007; CALEGARI, 2008; MEDEANIK e STEVAUX, 2008; BERTOLDO 2010). A origem desses campos também é discutida, se são nativos ou se são resultantes da intervenção antrópica desmatando a Mata de Araucária para abrir novas áreas de pastagem e agricultura. Segundo Behling e Pillar (2007) compreender a origem dos campos no sul do Brasil é necessário para sua conservação, porque se as pastagens resultando desmatamento, o manejo de vegetação deveria propor o reestabelecimento da vegetação florestal. Porém, se os campos têm prevalecido desde o passado, devido aos diferentes regimes climáticos, a melhor opção seria conservar essas relíquias "naturais" e sua alta biodiversidade (BEHLING e PILLAR, 2007).

Assim, conhecidas as vantagens da utilização da análise fitolítica, somadas a análise isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) e datação ^{14}C , objetiva-se nesse trabalho realizar um estudo de reconstrução da paleovegetação por meio de proxies biológicos preservados no solo, na área da ESEC Mata Preta, inserida na Superfície Geomórfica V, em Abelardo Luz – SC.

Especificamente objetiva-se:

- I. Determinar a assinatura fitolítica da vegetação atual e avaliar a sua variabilidade nos horizontes superficiais do solo sob a FOM (Mata de Araucária);
- II. Conhecer a trajetória histórica das mudanças da vegetação da área de estudo durante a Época Holocênica.

Para isto esta dissertação está organizada em sete capítulos. Para melhor interpretação e discussão dos resultados foi elaborada uma revisão bibliográfica (Capítulo 2) dos principais aspectos conceituais e teóricos sobre a vegetação (pretérita e atual), fatores e processos pedogenéticos, análise de fitólitos e análise de isótopos da matéria orgânica do solo ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C).

No capítulo 3 é apresentada a localização da área de estudo e os principais aspectos fisiográficos da área. Em seguida, no capítulo 4 são apresentados os materiais e métodos empregados neste estudo. A discussão dos resultados, com base na literatura consultada é apresentada nos capítulos 5 e 6 e, finalmente, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As reconstruções de cenários paleoambientais são realizadas com base em registros naturais – *proxy records* – capazes de fornecerem informações a respeito das condições de vegetação e clima de uma determinada área. Existem várias técnicas que podem ser utilizadas para a reconstrução paleoambiental, que empregam proxies biológicos, tais como análise polínica, análise fitolítica, análise isotópica $\delta^{13}\text{C}$, datação por ^{14}C , entre outras. Estas técnicas podem ser utilizadas simultaneamente (abordagem *multiproxy*), maximizando as possibilidades de interpretação do ambiente (PESSENDA *et al.*, 1996; 2005).

O solo e a matéria orgânica nele contida (MOS) são muito importantes para estudos desta natureza. A MOS é proveniente quase exclusivamente da cobertura vegetal sobrejacente ao solo, e este se comporta como um reservatório de registro de eventos ambientais pretéritos (PESSENDA *et al.*, 2005).

Assim, para melhor compreensão dos resultados obtidos nesse estudo e para caracterização do contexto atual da área estudada, bem como os princípios básicos das análises empregadas, foi elaborado um referencial teórico que contempla os seguintes aspectos: a) Trocas de vegetação no Sul do Brasil durante o a época Holocênica (Período Quaternário); b) Aspectos da vegetação natural da área de estudo – atualmente Floresta Ombrófila Mista; c) Fatores e processos pedogenéticos; d) Análise de fitólitos e, e) Análises isotópicas da matéria orgânica do solo ($\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C), enfocando as vantagens que essas ferramentas oferecem para estudos de reconstrução da vegetação.

2.1. TROCAS DE VEGETAÇÃO NO SUL DO BRASIL DURANTE A ÉPOCA HOLOCÊNICA (PERÍODO QUATERNÁRIO)

Desde o seu surgimento, o Planeta Terra passou por grandes mudanças, iniciadas com a organização da estrutura da Terra. Essas mudanças, ao longo do tempo produziram alterações geológicas, geomorfológicas, climáticas e biológicas (SALGADO LABOURIAU, 1998; SUGUIO, 1999).

As plantas possuem grande sensibilidade as mudanças de condições ambientais, tais como mudanças de temperatura e umidade. Durante seu ciclo vegetativo elas produzem grandes quantidades de grãos de pólen e esporos, que são materiais que podem ser preservados por milhares de anos e permitem a reconstituição dos aspectos da vegetação, pois

a partir da identificação dos grãos de pólen e de esporos é possível identificar a planta originária em nível taxonômico de família (SALGADO-LABORIAU, 1998).

Estudos em sedimentos datados do Quaternário revelaram a presença de megafósseis de plantas, de grãos de pólen, de esporos de pteridófitas, de foraminíferos e de diatomáceas, correspondentes a gêneros e, em alguns casos, a espécies de plantas modernas, permitindo a reconstrução dos ecossistemas pretéritos por meio de comparações, e acompanhar as possíveis fases de sucessão/trocas da vegetação e o comportamento das plantas em relação às mudanças e oscilações climáticas (SALGADO-LABORIAU, 1998).

Os macrorrestos vegetais (sementes, frutos, folhas e caules) e microrrestos florísticos - como grãos de pólen, esporos, silicofitólitos, carapaças de diatomáceas, entre outros - são considerados arquivos naturais, capazes de preservar registros de condições paleoambientais do Quaternário. Os macrorrestos são mais fáceis para serem reconhecidos e analisados, mas não são abundantes, além de serem geralmente, transportados e depositados por cursos d'água, dificultando interpretações paleoambientais. Os microrrestos florísticos são encontrados em grandes quantidades, mas devem ser criteriosamente analisados, uma vez que pólen e esporos podem ser transportados pelo vento e pela água, além do risco de serem destruídos (SUGUIO, 1999).

As reconstruções paleoambientais são dificultadas pela destruição parcial ou total das evidências antigas, mas os sinais mais recentes referentes ao Quaternário Tardio ainda se preservam e permitem a realização de estudos dessa natureza (SALGADO-LABORIAU, 2007). Daí a importância dos estudos sobre o Período Quaternário, frente aos períodos anteriores, uma vez que esse Período, principalmente nos tempos mais próximos ao presente (Holoceno), dispõe de informações em quantidades maiores que os períodos geológicos mais antigos (SUGUIO, 1999).

O levantamento de informações sobre o Período Quaternário é muito relevante, porque a sobrevivência humana dependeu e continuará relacionada à natureza, que é muito complexa e dinâmica e que qualquer modificação pode influenciar o conjunto ambiente e sociedade. Conhecer a história da natureza durante o Período Quaternário pode contribuir para a tentativa de estabelecer prognósticos futuros, por ser o passado pouco remoto e o presente, chave para o futuro (SUGUIO, 1999).

O Período Quaternário, que teve início há 2,58 milhões de anos, é dividido em Pleistoceno e Holoceno. O Pleistoceno tem seu início junto com o Quaternário e seu término foi em aproximadamente 11.700 anos A.P. e o Holoceno se inicia com o fim do Pleistoceno e dura até os dias atuais (INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY, 2014). O

início do Pleistoceno representa o começo dos paleoclimas glaciais, que moldaram a fisiografia de grandes extensões da Terra. As glaciações, que marcaram o clima mundial no decorrer do Quaternário, fizeram com que a biosfera se diferenciasse bastante daquela estabelecida no Terciário (SUGUIO, 1999).

Durante todo o Período Quaternário o clima se apresentou oscilante e cíclico, ou seja, foi intercalado por intervalos de tempo com temperaturas muito abaixo das atuais, períodos de glaciações com duração de aproximadamente 100.000 anos, e por intervalos de tempos de temperaturas mais quentes, interglaciais, de clima parecido com o atual, de duração aproximada de 20.000 anos, formando um ciclo de clima frio seguido por clima quente (SALGADO-LABORIAU, 1998).

O Quaternário foi predominantemente frio, sujeito a grandes glaciações e apenas 17% do tempo teve o clima parecido com o atual (SALGADO-LABORIAU, 2007). A sucessão de períodos glaciais e interglaciais, desde o final do Cenozóico, alteraram a temperatura, os ventos, as taxas de precipitação e umidade atmosférica relativa, que modificaram o relevo e a cobertura vegetal (SALGADO-LABORIAU, 2007). Os biomas brasileiros foram elaborados na passagem do Terciário para o Quaternário, com distribuição variada pelo território, reflexo das instabilidades paleoclimáticas (AB'SÁBER, 1971; OLIVEIRA *et.al.*, 2005).

O espaço dominado atualmente pela Mata de Araucárias, por exemplo, não foi igual durante todo o Período Quaternário, mas se constituiu desse modo perto do limite Pleistoceno/Holoceno (BEHLING, 1995; BERTOLDO, 2010; BERTOLDO *et al.*, 2014). O quadro anterior ao estabelecimento da FOM era de condições climáticas muito secas e bem mais frias, onde predominavam estepes e coxilhas, influenciadas por um clima considerado semiárido frio, com presença de cactáceas e outras estepes adaptadas a essa condição climática (AB'SÁBER, 1977; 2003). Nessa fase, o nível do mar estava mais baixo, correntes frias prolongavam-se pela costa brasileira até a Bahia e as massas de ar equatoriais e tropicais estavam com força de expansão reduzida (AB'SÁBER, 2003). O litoral do Sul do Brasil, que era composto por florestas de várzea, no Pré Último Máximo Glacial cedeu espaço aos campos e florestas adaptadas a clima frio (BEHLING, 2002).

No Último Máximo Glacial o clima estava mais úmido, campos e florestas de clima frio ocupavam a área atual da FOM e a Serra dos Campos Gerais. Nessa fase, poucos indivíduos de Floresta de Araucária eram vistos nos vales (BEHLING, 1997; 2002). Em algumas áreas a leste de Santa Catarina – por exemplo, em Campo Alegre (SC), o aspecto da vegetação nessa fase era de gramíneas com elementos arbóreos típicas de campo/cerrado e

presença de árvores e arbustos nas áreas mais altas (OLIVEIRA *et al.*, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2006) No litoral, o clima também era mais frio, com temperaturas de 5°C a 7°C mais baixas que as atuais (OLIVEIRA, *et al.*, 2005).

Durante o Glacial Tardio, os campos se expandiram para as terras altas do Paraná (BEHLING, 2002), vegetação essa que já contava com alguns indivíduos da FOM na Serra da Boa Vista (SC), por volta de 14.500 anos A.P. (BEHLING, 1995). Em Pato Branco (PR), de acordo com estudos de Bertoldo (2010) o clima estava mais seco há aproximadamente 13.700 anos A.P e ocorriam alguns eventos de altas precipitações. Foi por volta de 13.400 anos A.P. que ocorreu o estabelecimento de indivíduos de *Araucária angustifolia* no Sudoeste do Paraná, e não muito tempo depois se deu o estabelecimento de outras espécies típicas da FOM, nessa mesma região, por volta de 12.000 anos (BERTOLDO, 2010; BERTOLDO *et al.*, 2014).

Na transição Pleistoceno/Holoceno, campos de altitude e floresta coexistiam (BERTOLDO *et al.*, 2014). Em algumas áreas, o calor e a baixa disponibilidade de umidade limitaram a expansão da FOM, áreas essas que permaneceram vegetadas por campos (BAUERMANN e BEHLING, 2009). Em alguns lugares, o clima seco e as estepes foram substituídos por um período mais úmido e com chuvas regularmente distribuídas por todo o ano (MAACK, 1981). As flutuações climáticas permitem que mesmo numa fase úmida, alguns lugares estejam em fase mais seca, e o contrário também (BIGARELLA, MOUSINHO, SILVA, 1965).

Já no Holoceno, em vários momentos houve expansão e retração da FOM nos estados do Paraná e Santa Catarina (Quadro 1).

Quadro 1: Evolução histórica da vegetação nos estados do Paraná e Santa Catarina (Período Holocênico).

Período de tempo	Aspectos da Vegetação e Clima	Autor/Ano
10.600 anos A.P.	Aumento da umidade; Predomínio de FOM e Floresta Pluvial Atlântica – Pato Branco (PR).	Bertoldo 2010;
10.000 anos A.P.	Incremento de Poaceae; Diminuição de Temperatura na região de Serra da Boa Vista (SC); <i>Condição mais seca que a atual.</i>	Behling 1995; Calegari, 2008;
9.660 anos A.P.	Serra dos Campos Gerais do Paraná vegetada por campos; expansão da Floresta Tropical Úmida sobre os campos; Clima com menos chuva ou com estação seca, intolerável para a FOM.	Behling 1997;
8.700 anos A.P.	Fase climática mais úmida na Região Sul do país;	Calegari 2008;
7.220 anos A.P.	A região Sul estava mais úmida.	Ledru, 1998;
7.000 anos A.P.	Vegetação mais aberta com predomínio de C ₄ até 2.500 anos em Xanxerê (SC).	Calegari, 2008;
6.900 anos A.P.	Aumento significativo de <i>taxa</i> de FOM no Sudoeste do Paraná; temperaturas cerca de 2° C mais alta e umidade mais elevada que atualmente.	Bertoldo, 2010; Bertoldo <i>et al.</i> , 2014;
6.600 anos A.P.	Clima mais seco / com longa estação seca em Campo Alegre (SC); vegetação mais aberta – caráter regional.	Oliveira <i>et al.</i> , 2006;
4.320 anos A.P.	Indivíduos de <i>Araucária angustifolia</i> compunham as Matas de Galeria em Campo Alegre (SC).	Oliveira <i>et al.</i> , 2006;
4.210 anos A.P.	Auge da <i>Araucária angustifolia</i> no Sudoeste do Paraná, associação com <i>Podocarpus sp</i> ; clima mais frio e úmido que o atual.	Bertoldo <i>et al.</i> , 2014;
4.000 anos A.P.	Fase climática mais fria que a atual na região Sul do Brasil.	Calegari 2008;
3.460 anos A.P.	Condições climáticas mais frias favoráveis ao desenvolvimento da FOM no Sul do Brasil.	Behling, 1995; Bauermann, Behling 2009;
3.000 anos A.P.	Expansão e substituição (em diversas áreas) da FOM e das espécies tropicais sobre os campos do Sul do Brasil; Clima mais úmido em todo o país; <i>Expansão da FOM no Sul do Brasil associada a um período bastante úmido.</i>	Jarenkow Budque, 2009; Behling 2002; 1997; Calegari 2008;
2.500 anos A.P.	Formação de floresta – Xanxerê (SC).	Calegari, 2008;
2.000 anos A.P.	Fase climática mais úmida no Sul do Brasil.	Calegari 2008;
1.700 anos A.P.	Clima mais seco que o atual com estação seca prolongada em Porto Rico (PR).	Medeanik e Stevaux, 2008; Stevaux e Parolin 2010;
1.500 anos A.P.	Substituição (na atual área ocupada pela FOM no Paraná) dos campos pela floresta.	Bauermann, Behling 2009;
1.060 anos A.P.	Retração da FOM – Pato Branco (PR).	Bertoldo 2010;
1.000 anos A.P.	Substituição da vegetação herbácea pela FOM em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul.	Behling, 2002; Bauermann, Behling 2009;

No período entre 11.000 anos A.P. e 9.000 anos A.P., afirma-se que a Terra estaria num ótimo climático, e que outros períodos quentes tiveram distribuição regional (OROMBELLI *et al.*, 2010). Na fase entre 10.000 e 8.000 anos ocorreu a retração das

correntes frias juntamente com uma umidificação extensiva, que adensou as matas de Araucária, expandiu os campos de altitude e tropicalizou áreas de planalto (AB’SÁBER, 1977).

Mesmo durante os períodos em que alguns locais apresentaram umidade mais elevada, algumas áreas permaneceram vegetadas por campos e assim permanecem até a atualidade.

Vale ressaltar que no Noroeste de Santa Catarina, na área da bacia do rio Chapecó a vegetação de campo era, muito provavelmente, natural, uma vez que registros mais antigos da ocupação indígena para essa área datam entre 3.000 e 2.000 anos A.P (BRIGHENTI *et al.*, 2012; CORTELETTI, 2012; SCHMITZ, 2013). Com exceção da área ao entorno da foz do rio Chapecó, onde habitavam grupos caçadores e coletores do Alto Uruguai, a área da bacia desse rio foi povoada por grupos Jê Meridional que habitavam quase todo o Planalto Catarinense e que se aproveitavam da presença da Mata de Araucária utilizando o pinhão em sua dieta alimentar (SCHMITZ, 2013).

O estabelecimento da *Araucária angustifolia* se deu próximo à transição Pleistoceno/Holoceno, mas foi no Holoceno que as Florestas, pouco a pouco foram se expandindo por sobre os campos, e a partir do Holoceno Médio que a FOM alcançou a expansão máxima, ocupando áreas de campo, de acordo com a condição de umidade ambiental.

2.2. FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (FOM)

O Bioma Mata Atlântica contém diferentes fitofisionomias como a Floresta Ombrófila, a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Semidecidual, sem mencionar as zonas de contato entre esses tipos de vegetação (IBGE, 2008).

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) - também conhecida como Mata de Araucária e Pinheiral - recebe essa nomenclatura devido à umidade do ambiente da floresta e a diversidade de origens da flora que a compõe (SANQUETTA, CORTE E RODRIGUES 2014). Ela ocorre somente no Neotrópico e é típica do Planalto Meridional (VELOSO, RANGEL FILHO e LIMA, 1991). No Brasil ela era encontrada entre as latitudes 19°15’ S e 31°30’ S e longitudes 41°30’W e 54°30’ W, abrangendo parte dos estados do Paraná, Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (Figura 1). Atualmente ocupa também algumas áreas isoladas no estado de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo,

mesmo que em manchas menores, nos pontos mais altos das Serras da Mantiqueira, Paranapanema, Paranapiacaba, Caparaó e dos Órgãos (VELOSO, RANGEL FILHO e LIMA, 1991; BEHLING e PILLAR, 2007; PILLAR, 2009; BACKES, 2009; IBGE, 2012).

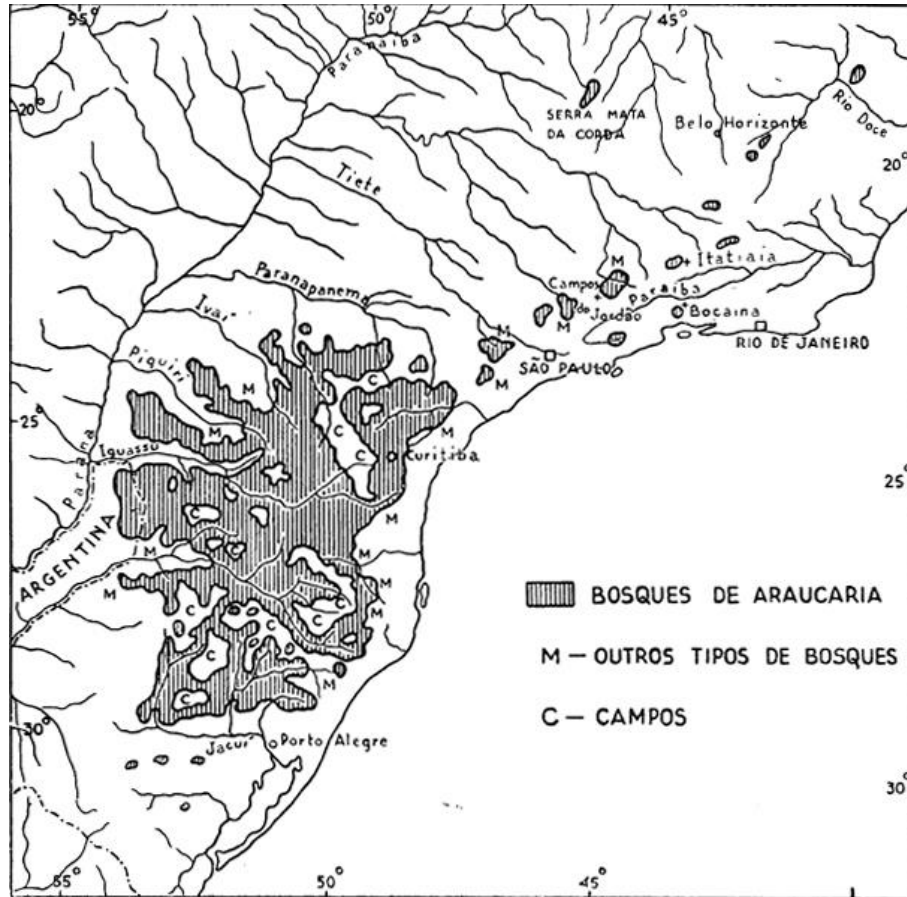


Figura 1: Ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista no Brasil (Fonte: HUECK, 1953).

Remanescentes da FOM são encontrados em zona de clima subtropical ou temperado úmido do Hemisfério Sul (DUTRA; STRANZ, 2009) e seu desenvolvimento está ligado à altitude (MAACK, 1981) e aos locais de condições climáticas frias e úmidas, sem estação seca pronunciada (BEHLING, 1997). No estado do Rio Grande do Sul, a Mata de Araucária situa-se entre 200 e 1.400 m de altitude, já em Santa Catarina, sua ocorrência se dá entre 500 e 1.500 m.a.n.m. e, no Paraná, em altitudes acima de 500 m.a.n.m. (BACKES, 2009).

De modo geral, a área de distribuição da FOM acompanha a área da isoterma de 18°C nos estados do Sul e em parte de São Paulo. A isoterma de 13°C atua como um limitante térmico dessa formação, pois desacelera sua expansão (BACKES, 2009). De clima subtropical, sujeito à massas de ar Polar Atlântica, na área ocupada pela FOM as baixas temperaturas, durante os 3 meses de inverno, levam a uma diapausa no ciclo biológico de

algumas espécies, ou seja, os processos fisiológicos de várias delas são totalmente paralisados (AB'SÁBER, 2006; BACKES, 2009).

As médias mensais de temperatura durante o verão são inferiores à 18°C e durante o inverno, inferiores à 15°C. A precipitação pluviométrica nas áreas de domínio da FOM é variada, com chuvas que são regularmente distribuídas ente 2.396 mm e 1.413 mm, com média anual de 1.828 e, sem estação seca pronunciada, o que contribui para o desenvolvimento da FOM (BACKES, 2009). A ocorrência da Araucária está associada à disponibilidade de umidade, pois ela necessita de no mínimo 1.400 mm anuais de chuvas bem distribuídas, de modo que não fique mais de um mês em seca (BEHLING, 1997).

Os gêneros primitivos que compõem a Floresta de Araucária são o *Drymis*, a *Araucária* e o *Podocarpus* (IBGE, 2012) e são facilmente encontrados na FOM. A *Araucária angustifolia*, conhecida também como Pinheiro do Paraná, domina o estrato superior da FOM e ultrapassa o dossel florestal (JARENKOW; BUDKE, 2009). Essa espécie pertence ao gênero *Araucária* da família *Araucariaceae*, que é composta por três gêneros: *Wollemia*, *Agathis* e *Araucária*. Este último, porém, é o único representante dessa família na América do Sul que apresenta maior número de espécies e maior amplitude geográfica, sendo a *Araucária angustifolia* a única espécie moderna dessa família no Brasil (DUTRA; STRANZ, 2009).

A dispersão de sementes dessa espécie é facilitada pela ajuda de pássaros como as gralhas, o papagaio-do-peito-roxo e a tiriba. Roedores como as cotias e os esquilos também atuam como dispersores, enterrando as sementes sem danificá-las, que germinam, quando não consumidas posteriormente. Alguns pequenos roedores consomem parte do pinhão, mas quando o embrião não é danificado, existem chances de a germinação acontecer. Entretanto, além da exploração intensiva que compromete a regeneração da Floresta de Araucária, as taxas de predação por pequenos roedores são altas, pois eles removem o pinhão do solo para consumir, comprometendo a geração de novos indivíduos (VIEIRA; IOB, 2009).

A distribuição da *Araucariaceae*, mais do que aos processos de dispersão, provavelmente está ligada ao caráter relictual dessa floresta, o que significa dizer que ela pode ter origem austral e, conforme o registro fossilífero, as particularidades da *Araucária* e *Bunya* são encontradas nos registros fósseis mais antigos (DUTRA; STRANZ, 2009).

A *Araucária angustifolia* é dominante na FOM e está comumente associada a outros gêneros como *Podocarpus*, *Ilex* e *Ocotea*, (MAACK, 1981). Estudos referentes à Floresta com Araucária no Sudeste e Sul do Brasil, sintetizados por Jarenkow e Budke (2009), indicaram uma diversidade florística e estrutural de 583 espécies, pertencentes a 73 famílias, sendo as famílias *Myrtaceae*, *Fabaceae*, *Lauraceae*, *Melastomataceae* e *Solanaceae* as mais

ricas em espécie (JARENKOW; BUDKE, 2009). O contato da FOM com outras formações florestais - Floresta Atlântica, Floresta Estacional, Campos e enclave de Cerrado – possibilita o compartilhamento de espécies, gerando dissimilaridades na composição florística dentro da própria FOM, cuja expressão mais característica, quando a *Araucária angustifolia* está rodeada de espécies de mesma procedência austral-antártica, ocorre nas áreas mais elevadas do Planalto Meridional (JARENKOW; BUDKE, 2009). Associadas a *Araucária*, também é comum encontrar espécies de Aquifoliaceae, Anacardiaceae, Flacourtiaceae, Euphorbiaceae, Sapindaceae e Meliaceae (RÍOS, GALVÃO, CURCIO, 2008; SEGER *et al.*, 2005).

Entre as espécies mais importantes da Floresta de Araucária estão *Araucária angustifolia*, *Ocotea pulchella*, *Sloanea lasiocoma*, *Ilex paraguariensis*, *Mimosa scabrella*, *Nectandra gandiflora*, *Ocotea sp.*, e *Podocarpus lambertii* (BEHLING, 1995; 1997; SANQUETTA *et al.*, 2002). Somam-se ainda aos indivíduos característicos da Floresta de Araucária nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, as espécies *Trichilia elegans*, *Allophylus guaraniticus*, *Acca sellowiana*, *Zanthoxylum fagara*, *Myrcianthes gigantea*, *Celtis erhembergiana*, *Myrceugenia glaucescens* e a *Myrcia bombycina* (JARENKOW; BUDKE, 2009).

Entre as espécies de maior ocorrência (indivíduos/ha⁻¹) na área estudada por Sonogo, Backes e Souza (2007) no Rio Grande do Sul, além de *Araucária angustifolia* e do *Ilex paraguariensis*, estão a *Casearia decandra*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Sebastiania brasiliensis*, *Myrceugenia mesomischa*. Na área estudada por Segeret *et al.*, (2005), em Pinhais-PR, além da Araucária, também há ampla ocorrência de *Vernonia discolor*, *Capsicodendron dinisii*, *Myrceugenia oxysepala*, *Lithraea brasiliensis*, *Psychotrian longipese* o *Podocarpus lambertii* no estrato superior. O estrato intermediário constatou grande ocorrência de *Campomanesia xanthocarpa*, *Eugenia pluriflora*, *E. involucrata*, *Myrcia multiflora*, *Myrceugenia oxysepala*, *M. miersiana*, *Sapium glandulatum* e *Celtis iguanaea*. No estrato inferior são frequentes a *Casearia decandra*, *Jacaranda puberula*, *Duranta vestita*, *Calyptanthes concinna*, *Myrcia fallax*, *Xylopia brasiliensis* e *Solanum sanctae catharinae* (SEGER *et al.*, 2005).

Estudos realizados por Sanquetta *et al.*, (2002) em São João do Triunfo- Paraná, indicaram a existência de 3 estratos dentro da Floresta Ombrófila Mista. O primeiro estrato é composto de árvores emergentes esparsas, que ultrapassam o dossel, tendo em média indivíduos com 27 m de altura. O estrato intermediário, com árvores entre 23 e 27 m, forma um dossel contínuo. O terceiro estrato reconhecido foi aquele formado por árvores com altura inferior a 23 metros, que permeiam o dossel (SANQUETTA *et al.*, 2002).

Entre as espécies emergentes da FOM estão a *Araucária angustifolia* (Pinheiro do Paraná), *Ocotea porosa* (Imbuia), *Ocotea puberula* (Canela-guaicá), *Luehea divaricata* (Açoita-cavalo) e *Ocotea sp.* (Canela coqueiro), tais espécies, à exceção da última, foram encontradas nos três estratos da floresta (SANQUETTA *et al.*, 2002; SONEGO, BACKES e SOUZA 2007; RÍOS, GALVÃO, CURCIO, 2008).

A FOM sofreu com a exploração humana (BEHLING, 1995), principalmente durante os séculos XVIII e XIX, por ocorrência da colonização da área de Santa Catarina e, durante muito tempo, o reflorestamento foi feito com *Pinus elliottii* e *Eucalyptus*. A área ocupada pela FOM no Sudeste e Sul do Brasil, que era de cerca de 200.000 km² antes da chegada dos colonizadores europeus (Figura 1), foi drasticamente reduzida à aproximadamente 6.000 km² (BAUERMANN; BEHLING, 2009; SANQUETTA, CORTE e RODRIGUES, 2014). Em muitas áreas do Planalto das Araucárias, a vegetação típica foi reduzida a bosquetes, resultado dessa intensa exploração madeireira (AB'SÁBER, 2006).

A *Araucária angustifolia*, por ser a conífera de maior valor econômico e de grande importância na economia madeireira do Sul do Brasil, sofreu exploração excessiva, fato não acompanhado pela reposição de indivíduos, principal motivo pelo qual se tem dado maior importância à preservação das Matas de Araucária (SOARES, 1979). De modo geral, a Floresta de Araucária é economicamente de fácil exploração e a singularidade da árvore símbolo acelerou sua destruição, considerando a falta de áreas de preservação (MAACK, 1981).

Além da exploração madeireira e do plantio extensivo de *Pinus* e *Eucalyptus*, a expansão das monoculturas de soja e milho e carência de planejamento para assentamentos humanos também são consideradas ameaça à preservação das áreas da FOM (MEDEIROS, SAVI e BRITO, 2005). Ainda assim, o número de Unidades de Conservação de Florestas de Araucária é pequeno, sendo que muitos remanescentes encontram-se em áreas particulares. São poucas as áreas de Floresta de Araucária no Brasil e, destas poucas, muitas delas estão profundamente alteradas (SONEGO, BACKES e SOUZA, 2007). As Unidades de Conservação existentes não são suficientes para garantir a conservação da Floresta de Araucária e de suas espécies, uma vez que abrangem apenas 1% da área original da Floresta. Para resolver essa questão, seria necessária a criação de novas Unidades de Conservação (DICK, DANIELI, ZANINI, 2012), como a da Estação Ecológica Mata Preta, em Abelardo Luz (SC), área de estudo da presente pesquisa.

2.3. O SOLO: REGISTRO DE MUDANÇAS AMBIENTAIS

O solo é um recurso natural de grande importância para a sociedade, não somente porque nele são alicerçadas construções de moradias e outras edificações essenciais à organização das populações, mas também pelo fato que dele retira-se o alimento necessário a sobrevivência humana. Os solos são onipresentes na superfície terrestres e representam um importante reservatório para *proxies* climáticos, tanto físico-químicos quanto biológicos. Nos solos é preservado um dos microfósseis de plantas mais duráveis: os fitólitos. Várias informações podem ser extraídas do solo, como por exemplo, a trajetória paleovegetacional da área onde se formaram, como proposto para a presente pesquisa. Os fitólitos preservados em solos e palaeosolos têm sido utilizados com sucesso para reconstruir a evolução do clima e da vegetação em regiões Tropicais (BREMOND *et al.*, 2004; 2005; PIPERNO, 2006, BARBONI *et al.*, 2007; CALEGARI *et al.*, 2013; COE *et al.* 2013; 2014; PAISANI *et al.*, 2013).

O solo é conceituado como um corpo natural, tridimensional e dinâmico, composto de materiais minerais e orgânicos, formado de partes sólidas, líquidas e gasosas. Apresenta seções aproximadamente paralelas – camadas/horizontes – que se diferem do material de origem devido aos processos pedogenéticos de adição, perda, translocação e transformação, tanto de energia como de matéria, ao longo do tempo (UNITED STATES, 1999; LEPSCH, 2002; BRADY 2013). Nem sempre as camadas são distinguíveis e o solo não é uniforme, pode variar de acordo com os aspectos geomorfológicos do local onde se forma (UNITED STATES, 1999). A gênese se dá a partir da interação entre os cinco fatores de formação: material de origem, clima, relevo, organismos e tempo (LEPSCH, 2002; BRADY, 2013), podendo assim ser entendido como um registro de mudanças ambientais, pois pode guardar informações de seu processo de formação. O material de origem é o material a partir do qual o solo é formado, precursor geológico ou orgânico, pode ser a rocha subjacente ou o regolito proveniente de outra rocha (BREEMEN, BUURMAN, 2002; BRADY, 2013). O clima, principalmente no que se refere às variações de temperatura e umidade, condiciona a intensidade do crescimento dos organismos vivos, assim como do intemperismo das rochas e interfere nos processos geomorfológicos que resultam em erosão ou deposição (LEPSCH, 2011). O intemperismo das rochas e a transformação dos minerais primários se devem principalmente à ação da água, que determina a velocidade de ocorrência da maioria dos processos geoquímicos (KÄMPF e CURI, 2012). Os organismos atuam no intemperismo das rochas e na formação dos horizontes. As folhas e raízes das plantas formam compostos húmicos diversos, assim como os animais que trituram restos vegetais, cavam galerias,

misturam materiais dos horizontes pedogenéticos e adicionam resíduos que contribuem para a formação de húmus e agregados. O homem revolve o solo, adiciona corretivos, fertilizantes, água e outros elementos, ao solo (LEPSCH, 2011).

A ação climática (precipitação e temperatura) e da biosfera sobre a rocha resulta na sua alteração e transformação em solo. Esse processo ocorre ao longo do tempo (RESENDE *et al.*, 2007) e sofre influência do relevo (LEPSCH, 2002). O relevo atua na distribuição dos solos na paisagem e influencia nos processos de formação, em especial no clima, na hidrologia e na sua geografia (KÄMPF e CURI, 2012). A partir do relevo são produzidas diferenças no solo, em resposta a desigualdade da distribuição de água, luz, calor e erosão no terreno. Também influencia no acúmulo de elementos e na erosão de determinadas áreas, bem como na diferenciação dos solos posicionados em diferentes partes da vertente (LEPSCH, 2011).

Os solos são formados ao longo de um período de tempo, no entanto vale lembrar que, como são dinâmicos, continuam em constante processo de formação e alteração.

Os solos possuem arquitetura de horizontes paralelos à superfície da área, cuja diferenciação resulta, em parte, devido ao processo de intemperismo ocorrer da base para o topo do perfil, logo, os horizontes mais profundos são mais parecidos com o material de origem (BRADY, 2013). As macropropriedades que permitem a distinção entre os solos são: constituição, cor, textura, estrutura, cerosidade, porosidade, consistência, cimentação, pedoclima e pedoforma (RESENDE *et al.*, 2007).

Durante a formação do solo ocorrem algumas reações físicas químicas e biológicas, chamadas de processos, que resultam na diferenciação dos horizontes. São quatro processos que atuam na formação dos solos: adição, remoção, translocação e transformação (RESENDE *et al.*, 2007).

A adição refere-se aos processos de entrada de qualquer material externo ao corpo de solo, como por exemplo, água, matéria orgânica, poeiras, fertilizantes etc. (RESENDE *et al.*, 2007; LEPSCH, 2011; BRADY, 2013). A remoção envolve os processos de retirada de materiais de um perfil de solo, que se dá principalmente por erosão de materiais superficiais, das partículas mais finas, como húmus, argila e silte. A remoção se dá também por lixiviação – para águas subterrâneas, entre outras formas (RESENDE *et al.*, 2007; BRADY, 2013).

A transformação acontece quando há modificação química ou física de algum constituinte do solo ou sua extinção para formação de um novo componente, como por exemplo, quando um mineral primário é desintegrado em cátions e, formando minerais de argila, se combinam e transformam-se em agregados do solo (LEPSCH, 2011). São exemplos

de transformação a ruptura da rede cristalina dos minerais primários, a gênese dos minerais de argila e a decomposição do material orgânico.

A translocação ocorre quando há deslocamento, seleção e mescla de materiais no perfil (em todas as direções), processo que resulta na diferenciação dos horizontes do solo. Como exemplo de translocação vertical, cita-se o deslocamento de argila do horizonte A para o B, gerando horizonte de acumulação de argila (Bt) (BREEMEN e BUURMAN, 2002; BUOL *et al.*, 2003; LEPSCH, 2011).

Como componentes do solo, os registros biológicos (*proxy*) estão suscetíveis a todos esses processos de formação dos solos. Esses processos explicam o ciclo de incorporação e permanência dos fitólitos nos solos. Após a morte da planta, ou de parte dela, o material orgânico é mineralizado e incorporado ao solo, e as biomieralizações de sílica opalina produzidas por esses organismos são incorporadas a matriz do solo (ROVNER, 1971; PIPERNO, 2006), passando a fazer parte dos 45% da fração mineral que compõe os solos (LEPSCH, 2011; BRADY, 2013). Uma vez incorporadas ao solo elas podem permanecer por longo período de tempo, ou até serem removidas para os níveis subsuperficiais ou fora do sistema solo através de processos de lixiviação e elutriação (ALEXANDER *et al.*, 1997) ou serem ainda intemperizados quimicamente, disponibilizando a sílica para ser reabsorvida por outras plantas ou aproveitadas nos processos de formação de argilominerais (ALEXANDER *et al.*, 1997; SOMMER *et al.*; 2006)

Portanto, o solo pode ser entendido como um reservatório de proxies e, para estudos de reconstrução da trajetória das formações florestadas e dos câmbios climáticos, é necessário buscar áreas que conservem as condições ambientais naturais preservadas, ou com o mínimo de alterações, como a área da ESEC Mata Preta.

2.4. FITÓLITOS

No sentido etimológico a palavra fitólito, do grego *phyto* (planta) e *lithos* (pedras), significa “pedra produzida por plantas” e faz parte do rol de *proxies* biológicos (marcadores) utilizados para entender climas e ambientes pretéritos (THORN, 2007).

Os fitólitos são definidos como partículas inorgânicas biogênicas de tamanho microscópico (ROVNER, 1971), que se formam nas raízes, caules, folhas, inflorescência e sementes de algumas plantas, a partir da absorção de sílica do soluto do solo, na forma de

ácido monossílico, que posteriormente é depositado dentro e entre as células epidérmicas das plantas em crescimento (ROVNER, 1971; PEARSALL 1982; BREMOND, 2005). São substâncias mineralizadas excretadas por plantas, de composição siliciosa ou calcária, que resultam da deposição de ácido monossílico em local intracelular ou extracelular após a absorção do soluto do solo (PIPERNO, 1988). De modo semelhante, Albert (1995) define que os fitólitos são microrrestos de composição mineral que se formam nas plantas e se dividem de acordo com sua composição em fitólitos de sílica e fitólitos de oxalato de cálcio.

O termo fitólito refere-se apenas aos corpos de sílica com formas identificáveis, não sendo aplicado a peças amorfas ou traços de sílica (PIPERNO, 1988). Possuem peso específico entre 2,3 e 1,5 g.cm⁻³ (WILDING *et al.*, 1977), apresentam-se translúcidos, de coloração amarelo-brunada, e tamanhos entre 2µm e 1000 µm - maioria de tamanho entre 20 µm e 200 µm (PIPERNO, 2006).

Os precursores nos estudos fitolíticos foram Loeuwenhoek, que em 1675 observou fitólitos de cálcio em plantas (ARNOTT, *apud* MULHOLLAND; RAPP, 1992), e Ehrenberg, que iniciou a sistematização da descrição dos fitólitos de sílica em 1836 (BAKER *apud* MULHOLLAND; RAPP, 1992). Com o decorrer do tempo, vários outros autores foram moldando o conceito de fitólitos, por exemplo, Bertoldi de Pomar (1971; 1975); Twiss *et al.*, (1969), Rovner (1971) e Piperno (1988; 2006).

Os fitólitos podem ser considerados registros botânicos preservados em solos e sedimentos cujas variadas formas e dimensões (ZURRO, 2006), aportam informações arqueológicas e paleoambientais significativas (MULHOLLAND; RAPP, 1992).

2.4.1 Produção de fitólitos nas plantas e deposição no solo

O fitólito resulta da deposição de sílica solúvel absorvida do soluto do solo em local intra ou extracelular, processo este realizado por algumas plantas. A sílica solúvel – ácido monossílico Si(OH)₄ - é absorvida pelas raízes das plantas em solos com pH entre 2 e 9 e conduzida pelo xilema para os órgãos aéreos (PIPERNO, 1988). Parte da sílica absorvida do solo é utilizada para os processos metabióticos da planta e parte é depositada nas cavidades entre e intracelulares antes que a água seja eliminada da planta por evapotranspiração, assim a sílica é depositada em forma de gel e com o decorrer do tempo é cristalizada, adquirindo a forma da célula em que foi depositada (THORN, 2007).

Os fitólitos de sílica são produzidos principalmente nas folhas e raízes de plantas herbáceas e lenhosas e também na madeira de árvores e arbustos. A deposição de ácido monossilíco no tecido da planta pode ocorrer de três modos (PIPERNO, 1988):

- Nas paredes das células, processo denominado de silicificação da membrana;
- Preenchimento das células do lúmen;
- Preenchimento dos espaços extracelulares do córtex.

No tecido epidérmico das folhas e no colmo de herbáceas são registradas as maiores perdas de água e, portanto, as mais altas taxas de silicificação e produção de fitólitos (EPSTEIN, 2001; MA *et al.*, 2001). A deposição de ácido monossilíco em determinadas áreas da planta ocorre em função de necessidades estrutural, fisiológica e protetora da planta (ZURRO, LANCELOTTI, MADELLA, 2013):

(I) Um tecido silicificado oferece maior consistência para a planta, bem como maior resistência à exposição solar e estresse hídrico – **necessidade estrutural**;

(II) A sílica pode aprisionar elementos prejudiciais à planta – **necessidade fisiológica**;

(III) Os fitólitos enrijecem a planta, que deixa de ser consumida por alguns herbívoros e fungos – **necessidade protetora**.

A produção de fitólitos não ocorre de maneira homogênea em todas as famílias de plantas, havendo plantas consideradas baixas ou altas produtoras (MADELLA, 2007).

De modo geral, as espécies de gramíneas produzem maiores quantidades de fitólitos do que as Eudicotiledoneae de hábito arbóreo (TWISS *et al.*, 1969; 1992), cerca de 20% a mais (ALBERT e WEINER apud ZURRO, LANCELOTTI, MADELLA, 2013). As plantas herbáceas além de possuírem um ciclo de vida mais curto do que o das árvores, são encontradas tanto nas pradarias quanto nas florestas. Por este motivo elas depositam maiores quantidades de silicofitólitos no solo quando comparada às árvores (ALBERT, 2006). Outras famílias conhecidas como excelentes produtoras de fitólitos são: Palmae (Arecaceae), Urticaceae, Moraceae, Marantaceae, Dilleniaceae, Burseraceae, Curcubitaceae, Compositae, Chrysobalanaceae, Hymenopillaceae e Selaginellaceae (PIPERNO, 1988).

Das famílias estudadas até o momento, pertencentes à Floresta Ombrófila Densa em território brasileiro, que produzem as maiores quantidades de fitólitos destacam-se: Flacourtiaceae, Meliaceae, Moraceae (FELIPE, 2012), Poaceae e Arecaceae (CECCHET, 2012). Coleções de referência têm indicado que além das Poaceae e das Arecaceae, as famílias pertencentes a Floresta Ombrófila Mista e aos Campos na região Sudeste do Estado do Paraná que demonstraram ser boas produtoras de fitólitos são: Thelypteridaceae,

Dicksoniaceae, Rubiaceae, Piperaceae, Fabaceae, Lauraceae, Dryopteridaceae, Polypodiaceae e Apiaceae (RAITZ, 2012).

Embora existam famílias de plantas com maior capacidade de produção do que outras, já se sabe que alguns fatores interferem na produção de fitólitos, tais como:

- Disponibilidade de sílica do solo: influencia no conteúdo de silício disponível no solo e pode ocasionar variações na produção de fitólitos dentro de um mesmo táxon (SANGSTER, HODSON, LING, 2009).

- Presença de óxidos de ferro e alumínio e matéria orgânica no solo: óxidos de ferro e alumínio absorvem ou utilizam sílica em suas ligações, diminuindo a sílica disponível para as plantas, necessária para a formação de fitólitos. Em geral, os solos tropicais possuem grandes concentrações de sílica (PIPERNO, 1988). Já nos solos com maior concentração de matéria orgânica dissolvida, o que causa variações no pH do solo, a quantidade de sílica solúvel pode ser maior e favorecer o aumento na produção de fitólitos pelas plantas sobrejacentes (PIPERNO, 1988).

- Disponibilidade de nitrogênio (N) e fósforo (P) no solo: estes podem inibir a produção de fitólitos (ZURRO, LANCELOTTI E MADELLA, 2013).

- O pH do solo: influencia na capacidade de absorção de ácido monossílico pelas plantas, pois em condições alcalinas ou extremamente alcalinas (pH 8 entre 9) a solubilidade da sílica é máxima, disponibilizando mais sílica no soluto do solo, que poderá ser absorvida e usada pelas plantas para produzir fitólitos (ZURRO, LANCELOTTI E MADELLA, 2013).

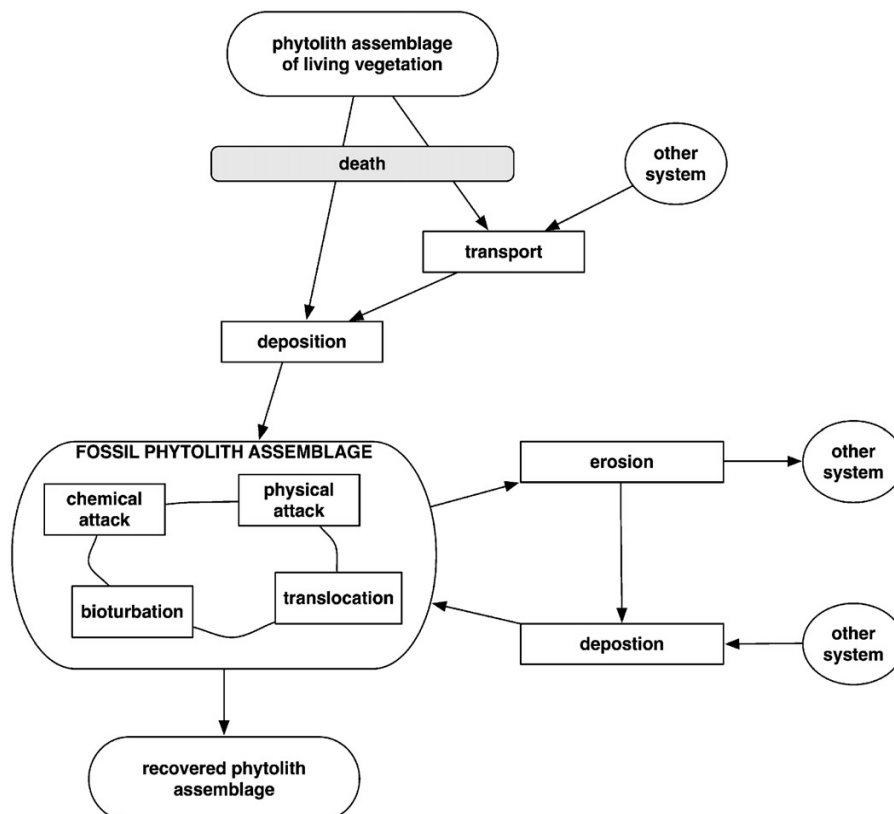
- Umidade do solo: interfere na deposição de ácido monossílico na planta, isso porque a umidade favorece ou limita o crescimento das folhas e, conseqüentemente, afeta a deposição do silício (SANGSTER, HODSON, LING, 2009; ZURRO, LANCELOTTI E MADELLA, 2013).

- Controle genético: independente da disponibilidade de sílica solúvel, algumas famílias de plantas tem baixa ou nula produção de fitólitos, enquanto algumas famílias depositam grande quantidade de sílica solúvel, formando um elevado número de fitólitos (PIPERNO, 1988).

Após a morte do tecido vegetal, o fitólito pode ser incorporado ao solo e, como qualquer outra partícula, é submetido a processos de erosão, transporte e deposição. A deposição também pode ocorrer no fundo oceânico (THORN, 2007). Quando o tecido da planta cai no chão e o fitólito é depositado no solo, ele reflete as condições climáticas e vegetacionais em escala local, em determinado período (PIPERNO, 1988).

Assim, considerando que a maioria dos fitólitos é incorporada aos solos por processos de adição (Item 2.3) e que poucos são liberados para serem transportados pelo ar, entende-se a assembleia de fitólitos incorporada no solo como um registro mais local da trajetória da vegetação naquele contexto, em escala local, devido a deposição ser *in situ*. Isto não significa dizer que os fitólitos não podem ser transportados por agentes. Dependendo das condições fisiográficas da paisagem onde são produzidos, eles podem ser transportados em pequena escala pelo vento (na forma de poeira, em incêndios), pela água (escoamento superficial e subsuperficial), por animais (excrementos dos animais) ou, até mesmo, por humanos, através do corte e uso doméstico de plantas, depositando os fitólitos em áreas distantes do local de origem (PIPERNO, 1988), conforme esquematizado por Osterrieth *et al.* (2009) para um depósito de *loess* na Argentina (Figura 2). Nesta figura são apresentados os processos tafonômicos deposicionais e pós-deposicionais dos fitólitos.

Figura 2: Diagrama teórico dos processos tafonômicos da história deposicional e pós-deposicional dos fitólitos em depósito de *loess*.



Os fitólitos, quando depositados, farão parte de uma assembleia fitolítica preservada em solos ou sedimentos e estarão sujeitos ao ataque de processos químicos e físicos (dissolução, abrasão, quebra e etc.) no solo, à translocação e à bioturbação. O solo pode sofrer

processos erosivos e é possível que os fitólitos sejam transportados, deixando de compor a assembleia fitolítica daquele solo para passar a compor outra assembleia, em um novo sistema que não seja o mesmo que o originou.

Em algumas situações os fitólitos podem percorrer vários quilômetros antes de serem depositados, como agregados do solo (TWISS, 2001; OSTERRIETH, *et al.*, 2009). A maioria dos fitólitos são depositados num raio de 500 km a partir da área fonte, porém, podem ser transportados por até 6.000 km (PIPERNO, 1988).

Portanto, em áreas onde há acumulação de sedimentos, pode haver acúmulo de fitólitos provenientes de outras áreas (ALBERT, 2006). Logo, devem-se considerar os processos de transporte e deposição de fitólitos na hora da escolha do local de coleta (OSTERRIETH, *et al.*, 2009).

No que se refere a conservação dos fitólitos, Albert (2006) comenta que depende, primeiramente, do grau de silicificação dentro da planta e que algumas morfologias, mesmo que produzidas em grandes quantidades devido a sua fraca silicificação, se não encontrarem condições edáficas para sua preservação no solo, serão dissolvidos e a sílica disponibilizada para ser reabsorvida pelas plantas, ou lixiviada do perfil (OSTERRIETH *et al.*, 2009).

A dissolução do fitólito está ligada ao pH do ambiente onde ele se deposita (OSTERRIETH *et al.*, 2009). Em solos com pH acima de 9 a dissolução do fitólito é muito forte (PIPERNO, 1988). Ainda assim, constata-se que, embora suscetíveis à dissolução em condições de pH extremos, ou quando muito pequenos, sob condições normais, os fitólitos podem permanecer por longos períodos de tempo no solo (MULHOLLAND e RAPP, 1992). Em solos vulcânicos e locais às margens de lagos, o fitólito conserva-se bem, enquanto que em solos piroclásticos e naqueles salinos – alcalinos, passam por maior grau de dissolução (ALBERT, 2006).

Se o fitólito estiver em um ambiente livre de óxidos de ferro e alumínio, ele se preservará por mais tempo no solo, porque tende a adsorver silício, retardando sua dissolução (PIPERNO, 1988).

A superfície e o tamanho do fitólito também interferem na sua preservação, assim como o nível de impurezas e o grau de silicificação do fitólito. Quanto maior a área (menor superfície específica), mais lenta a dissolução do fitólito (PIPERNO, 1988).

Os morfotipos de sílica pura são menos tafonomizados do que aqueles que apresentam substituição isomórfica e oclusão de elementos como alumínio, carbono, cálcio, ferro e sódio, por exemplo. Esses elementos na estrutura do fitólito podem gerar ponto preferencial de ataque do intemperismo (WILDING *et al.*, 1977; OSTERRIETH, *et al.*, 2009).

Fitólitos podem ser melhores preservados quando estão sob camadas de sedimentos lacustres e quando em abrigos rochosos, isso porque o solo está sujeito a constante intemperização (PIPERNO, 1988). E quando depositados em abrigos das rochas, os fitólitos tem mais proteção contra elementos soprados pelo vento.

2.4.2. Fitólitos como marcadores ambientais (*Proxy*)

Os fitólitos têm sido usados com muito sucesso em estudos de reconstrução paleoambiental e arqueológicos e, devido as suas características, podem ser definidos como marcadores ambientais. As principais características são (ALBERT, 1995):

- a) durabilidade: confere maior conservação nos solos;
- b) morfologia: permite diferenciação entre famílias, subfamílias e táxon;
- c) alta produção: permite comparação com espécies vivas e identificação de famílias;
- d) aplicação a diversos tipos de restos arqueológicos;

Fitólitos tem grande potencial para indicar mudanças na vegetação, ainda mais quando associado à utilização de outros *proxies*, como exemplo: isótopos de carbono $\delta^{13}\text{C}$ e ^{14}C e grãos de pólen (BLINNIKOV, BUSACCA e WHITLOCK, 2001). Suas variadas formas, proveniente dos tecidos das plantas, oferecem grande potencial de interpretação ambiental, porque através dos morfotipos é possível fazer a identificação da família produtora (TWISS, 1992). Eles podem ser considerados bons indicadores da cobertura de gramíneas em áreas tropicais e temperadas, e sua capacidade de caracterizar florestas e identificar mudanças na densidade da cobertura arbórea tem sido estudada em escala local (por exemplo: DELHON, 2003; BARBONI *et al.*, 2007; BREMOND *et al.*, 2008 na África; STRÖMBERG *et al.*, 2007 na Turquia, BLINNIKOV, BUSACCA e WHITLOCK, 2001 nos Estados Unidos; CALEGARI, 2008; CALEGARI *et al.*, 2013a; 2014; COE *et al.*, 2013; 2014; MACEDO, 2014 no Brasil, entre outros). Em regiões temperadas e em altitudes acima de 1.900 m como na África, os resultados de estudo da assembleia fitolítica não refletem a abundância de árvores e arbustos, ao contrário dos resultados obtidos em regiões tropicais e de baixas e médias altitudes, onde a assembleia fitolítica tem sido capaz de refletir com precisão a cobertura florestal ou campestre (BARBONI *et al.*, 2007).

Posto isto, é necessário ressaltar que o uso desse marcador, assim como os demais, deve ser cercado de cuidados, pois existem alguns aspectos na produção de fitólitos, que é

mais uma questão de fisiologia do que de ambiente, e devem ser considerados a fim de evitar interpretações equivocadas das assembleias de fitólitos preservadas nos solos. Um aspecto é que nem todas as famílias e nem todas as espécies de uma mesma família são produtoras de fitólitos (ALBERT, 1995), o outro é o que Rovner (1971) define como redundância e multiplicidade. A redundância se refere ao fato de que uma mesma morfologia pode ser produzida por diversos *taxa* de plantas e multiplicidade refere-se ao fato de uma mesma planta produzir várias formas diferentes. O aumento de coleções de referências gerou mais segurança nas identificações e minimizou a incredibilidade. Atualmente, é possível fazer identificações de morfotipos com significado taxonômico em nível de família (PEARSALL, 2000).

É importante considerar que a classificação dos fitólitos deve ser realizada com muito cuidado para que os morfotipos sejam classificados da forma correta, evitando interpretações equivocadas (BLINNIKOV, BUSACCA e WHITLOCK, 2001).

Quanto à reconstrução paleoambiental, é válido ressaltar que a análise da assembleia fitolítica não tem condições de reproduzir fielmente a diversidade de plantas da cobertura vegetal do passado, isso porque a análise esbarra no fato de algumas plantas não produzirem fitólitos, ou não produzirem fitólitos diagnósticos, ou eles não serem suficientemente silicificados para se preservarem no solo (PIPERNO, 1988). Cabe salientar que a escala de abrangência da análise fitolítica é local e, para obter dados regionais, é necessário analisar vários locais diferenciados (PIPERNO, 1988).

Atualmente os fitólitos são amplamente utilizados para reconstrução ambiental justamente devido ao caráter diagnóstico dos morfotipos (em nível de família e subfamília) e à sua preservação no solo (ZURRO, LANCELOTTI, MADELLA, 2013).

A possibilidade de identificar e caracterizar comunidades de vegetação atuais em nível de família e, sobretudo, comunidades pretéritas preservadas em solos e sedimentos, também é uma importante contribuição dos fitólitos, bem como a possibilidade de definição da espacialização das comunidades vegetais e sua temporalidade, isto é, através de datações é possível definir quando e por quanto tempo determinada vegetação ocupa certa área/região (SANTOS *et al.*, 2010; 2012). Com base na morfologia e morfometria de fitólitos é possível diferenciar vegetação arbórea e campestre, bem como a tipologia - vegetação C₃ ou C₄ (RUNGE, 1999; PIPERNO, 2006; SCHAEZTL e ANDERSON, 2005; ZURRO, LANCELOTTI, MADELLA, 2013).

As coleções de fitólitos extraídos de plantas modernas subsidiam a identificação e reconstrução de ambientes e tipos de vegetações modernas e pretéritas, permitindo a

reconstituição das condições ambientais, bem como de hábitos e costumes, no caso de estudos arqueológicos (HARVEY, FULLER, 2005). Através delas é conhecida a produção em termos de quantidade e variedade de cada morfotipo.

Com base em coleções de referências de plantas publicadas na literatura corrente, já são reconhecidos alguns padrões. Os morfotipos *Rondel* e *Trapeziform short cell* (DELHON, 2003; BARBONI *et al.*, 2007; BREMOND *et al.*, 2008) tem significado taxonômico e ambiental, pois são produzidos por gramíneas C₃, da subfamília *Pooid*, que ocorrem em áreas de altas latitudes, altas elevações, predominando entre as gramíneas de zonas temperadas (TWISS, 1992; 2001 BREMOND *et al.*, 2008). O morfotipo *Saddle* é produzido por plantas C₄, da subfamília *Chloridoid* (BARBONI *et al.*, 2007; BREMOND *et al.*, 2008) que tolera altas temperaturas – sendo a temperatura mínima aceitável no mês mais frio acima de 10 °C - e condições de aridez e semiaridez, com baixa precipitação ou chuvas concentradas somente no verão, ou então áreas onde não há uma estação chuvosa (TWISS, 1992; 2001; BARBONI *et al.*, 2007). Plantas *Chloridoid* são geralmente encontradas em áreas de baixas latitudes, assim como em áreas de baixas altitudes (BREMOND *et al.*, 2008).

Os morfotipos *Bilobate* e *Cross* são característicos de gramíneas altas, C₄, da subfamília *Panicoid* (DELHON, 2003; BARBONI *et al.*, 2007; BREMOND *et al.*, 2008), são encontrados em regiões tropicais e subtropicais, com temperatura e umidade altas (TWISS, 1992; 2001; BARBONI *et al.*, 2007).

Os morfotipos *Bilobate* e *Cross* também podem ser produzidos pela subfamília *Bambusoid*, de Poaceae C₃, que produz também o morfotipos *Polylobate* (COE; OSTERRIETH, 2014). A subfamília é comumente encontrada em condições climáticas quentes, principalmente nas florestas. Os mesmos morfotipos também podem ser produzidos por gramíneas *Arundinoideae*, porém, estas encontradas em diversos locais, não tendo hábito tão específico (BREMOND *et al.*, 2008).

O morfotipo *Bulliform* (*Cuneiform* e *Parallelepidal bulliform*) é um bom marcador de stress hídrico no solo – seca (MESSAGER *et al.*, 2010). A quantidade de morfotipos *Bulliform* produzidos pela planta é proporcional ao stress hídrico por ela sofrido, ou seja, quanto mais stress hídrico, mais *Bulliform* será produzido (COE; OSTERRIETH, 2014).

Espécies de Eudicotiledoneae produzem os morfotipos *Globular psilate*, *Globular rugose*, *plate*, *papillae* e *irregular* (RUNGE, 1999). Contudo, nem todas as Eudicotiledoneae lenhosas produzem o morfotipo *Globular* e os morfotipos por elas produzidos são mais propensos à dissolução, devido à grande área de superfície específica. Esse morfotipo também

diminui em quantidade conforme há um aumento da altitude e, por consequência, decréscimo da temperatura (BARBONI *et al.*, 2007).

O morfotipo *Globular echinate* é produzido pela família Arecaceae (ALBERT, 2009; BENVENUTO, *et al* 2015), encontrada tipicamente em lugares de temperaturas elevadas. As Cyperaceae produzem o morfotipo *Conical/Papillae* (PIPERNO, 2006). De distribuição cosmopolita, são comumente encontradas em áreas abertas e alagáveis.

O morfotipo *Crater-shaped* é produzido pela família Araucariaceae (PARR e WATSON, 2007), típica de clima frio e de elevada umidade (Item 2.2).

Altas porcentagens de *Chloridoid* e baixas porcentagens de *Panicoid*, *Pooid* e Eudicotiledoneae representam ambientes mais secos. *Panicoid*, *Pooid* e Eudicotiledoneae ocupam áreas mais úmidas, podendo ser áreas frias (TWISS *et al.*, 1969; TWISS, 1987;1992).

2.4.3. Índices fitolíticos

Na tentativa de explorar mais os aspectos ambientais que os fitólitos oferecem, alguns índices fitolíticos têm sido propostos para interpretações ecológicas (DIESTER-HASS *et al.*, 1973; TWISS, 1992; BREMOND *et al.*, 2008; STRÖMBERG *et al.*, 2007; DELHON, 2003).

O Índice de Adaptação a Aridez (Iph) (DIESTER-HASS *et al.*, 1973; TWISS, 1992), avalia a umidade da área de estudo no período em que os fitólitos foram produzidos, isto é, na época em que as plantas que originaram os fitólitos habitavam a área de estudo. O Iph é baseado na relação entre a quantidade de fitólitos *Chloridoid* (morfotipo *Saddle*) *versus* a soma dos morfotipos de *Chloridoid* (*Saddle*) e *Panicoid* (*Bilobate* e *Cross*).

Porcentagens altas indicam campos dominados por *Chloridoid* sob condições climáticas secas, enquanto que porcentagens baixas revelam predomínio de *Panicoid*, sob condições mais úmidas (TWISS, 1992; ALEXANDRE *et al.*, 1997; FREDLUND e TIESZEN, 1997; BARBONI *et al.*, 2007; BREMOND *et al.*, 2008).

$$Iph = \frac{Saddle}{Saddle + Cross + Bilobate\ short\ cell} * 100$$

O Índice Climático (IC) de Twiss (1992) oferece informações sobre a temperatura da área de estudo no período em que os fitólitos foram produzidos. Os valores deste índice

variam de 0 a 100%: valor 0 indica condições de temperaturas mais quentes e valor 100 indica ambiente com temperaturas mais frias. Valores altos de I_c sugerem predomínio de gramíneas C_3 e abundância de *Pooid* (morfotipos *Rondel* e *Trapeziform short cell*), devido à condição climática mais fria (BARBONI *et al.*, 2007; BREMOND *et al.*, 2008). O IC baseia-se na relação entre a quantidade de fitólitos *Pooid* versus a soma de morfotipos de *Pooid* (*Rondel* e *Trapeziform short cell*), *Chloridoid* (*Saddle*) e *Panicoid* (*Bilobate* e *Polylobate*):

$$IC \% = \frac{\text{Rondel} + \text{Trapeziform (short cell e polylobate)}}{\text{Rondel} + \text{Trapeziform (short cell e polylobate)} + \text{Saddle} + \text{Cross} + \text{bilobate short cell}} \times 100$$

O Índice de Cobertura Arbórea (D/P) proposto por Alexandre *et al.* (1997), baseia-se na relação de fitólitos de Eudicotiledoneae (*Globular psilate* e *rugose*) dividido pela soma dos fitólitos de Poaceae (*Pooid*, *Chloridoid*, *Panicoid*, *Trichomes* e *Bulliforms*). O D/P avalia a cobertura arbórea no terreno, caracterizado pela presença do morfotipo *Globular* no solo, ou seja, quanto maior a quantidade de *Globular* na amostra, maior foi a quantidade de árvores no terreno. O morfotipo *Globular* é diagnóstico de Eudicotiledoneae com hábito arbóreo. Os valores deste índice variam de 0 a 1, sendo que 0 representa o mínimo de cobertura arbórea (indicando condições mais secas) e o 1 representa o máximo de cobertura arbórea, indicando condições mais úmidas. A relação D/P é confiável para regiões tropicais (DELHON *et al.*, 2003).

$$D/P = \frac{\text{globular psilate} + \text{globular granulate} + \text{globular oblong}}{\text{bilobate} + \text{polylobate} + \text{cross} + \text{rondel} + \text{saddle} + \text{bulliform} + \text{unciform hair cell}}$$

Para calcular o Índice de Cobertura Arbórea em zonas tropicais de baixas altitudes, Bremond *et al.* (2008) propõe o índice D/P° , que é a razão entre os fitólitos de Eudicotiledoneae lenhosas (*Globular granulate*) versus os fitólitos de gramíneas (células curtas), inclusive os morfotipos *Trapeziform* e *Polylobate*.

Cálculo para obtenção do índice D/P° :

$$D/P^\circ = \frac{\text{Globular granulate}}{\text{bilobate} + \text{polylobate} + \text{cross} + \text{trapeziform (sinuate, polylobate, short cell)} + \text{rondel} + \text{saddle}}$$

Podem existir áreas onde esse índice D/P^0 não seja um bom rastreador da densidade da cobertura arbórea (BREMONT *et al.*, 2008), pois, de acordo com autores como Delhon *et al.* (2003), Bremond *et al.* (2004) e Strömberg (2004), o morfotipo *Globular granulate* não é onipresente em árvores não tropicais, inviabilizando assim o uso deste índice.

Outros índices foram desenvolvidos e aplicados em condições de climas temperados e tropicais, como os índices GSSC (STRÖMBERG *et al.*, 2007) e Bi (DELHON, 2003), para avaliar ocorrência de condições de stress hídrico ou baixa disponibilidade de água para as plantas. Entretanto, quando aplicados em estudos no Brasil, os resultados não são satisfatórios (CALEGARI *et al.*, 2013), por isso, assim como o índice D/P^0 , estes dois índices não foram usados no presente estudo.

2.5. ANÁLISE ISOTÓPICA ($\delta^{13}C$) DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Isótopos estáveis formam-se naturalmente e compõem a atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera (BOUTTON, 1996). Os isótopos são espécies atômicas de um mesmo elemento químico que possuem massas diferentes (MARTINELLI *et al.*, 2009). Eles possuem o mesmo número de prótons (Z), mas diferente número de nêutrons (N) no núcleo atômico e sua massa permanece a mesma durante toda a sua existência, daí a denominação isótopos estáveis. Aqueles cuja massa atômica é menor, chamados “leves”, são mais abundantes (MARTINELLI *et al.*, 2009).

Entre os isótopos mais utilizados em estudos ambientais estão os de carbono ^{12}C e ^{13}C , de nitrogênio ^{14}N e ^{15}N , de oxigênio ^{16}O , ^{17}O e ^{18}O , de hidrogênio 1H e $^2H(D)$, e de enxofre ^{32}S e ^{34}S (MARTINELLI *et al.*, 2009).

A composição isotópica do carbono da matéria orgânica do solo (MOS) tende a refletir a composição isotópica da cobertura vegetal presente na área (BOUTTON, 1996; DESJARDINS *et al.*, 1996).

As diferentes famílias de plantas utilizam diferentes vias para realização da fotossíntese (FERNANDES *et al.*, 2007). Existem plantas de padrão fotossintético C_3 , cuja enzima aceptora do processo de carboxilação é a Rubisco, e aquelas de padrão fotossintético C_4 , que utilizam a enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP carboxilase) (VIEIRA *et al.*, 2010). Os valores de $\delta^{13}C$ das plantas C_3 variam de -22‰ a -32‰. Nas plantas C_4 , os valores variam entre -9‰ e -17‰. As médias de valores encontrados para C_3 e C_4 são -27‰ e -13‰, respectivamente (PESSENDA *et al.*, 1996; 2005; DESJARDINS *et al.*, 1996).

Nas plantas CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), o processo fotossintético acontece de dia e de noite. Durante o dia, em condições hídricas favoráveis, elas utilizam a enzima Rubisco e, durante a noite, utilizam a PEP carboxilase para fixar o CO₂ (O'LEARY, 1981; VIEIRA *et al.*, 2010).

A temperatura ideal para o processo fotossintético das plantas C₄ é de 30 a 45 °C, para as C₃ é de 15 a 25 °C e para as CAM é de 35 °C (VIEIRA *et al.*, 2010).

Os valores isotópicos podem informar se a vegetação predominante na área era C₃, C₄ ou mistura de ambas (DESJARDINS *et al.*, 1996; PESSEDA *et al.*, 2005). Através da análise isotópica é possível obter resultados confiáveis sobre trocas de vegetação C₃ e C₄ (PESSEDA *et al.*, 2005).

Quando a vegetação predominante no perfil é do tipo C₃ e não se observa indícios de modificações na composição da vegetação, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ tem um enriquecimento em profundidade de forma natural, da ordem de 3 a 4‰. Se o aumento observado no perfil mostra-se maior, é provável que tenha ocorrido uma troca de vegetação durante a pedogênese do perfil (MARTINELLI *et al.*, 2009). Autores como Desjardins *et al.*, (1996) Gouveia, Pessenda e Aravena (1999) também concordam que há enriquecimento da MOS em profundidade.

No sul do Brasil, mais precisamente nos Estados do Paraná e Santa Catarina, os estudos que empregam a análise isotópica $\delta^{13}\text{C}$ têm obtido valores que permitem identificar trocas de vegetação.

No estudo de um perfil de solo em Xanxerê (SC), Calegari (2008) identificou valores de $\delta^{13}\text{C}$ que variaram entre -18,42‰ e -24,76‰. Entre 200 e 100 cm os valores encontrados foram de -18,42‰ a -19,97‰, valores estes que caracterizam uma mistura de plantas C₃ e C₄, sendo as últimas predominantes no período entre 7.000 e 2.500 anos A.P. De 80 cm até o topo do perfil, os valores apurados foram de -20,33‰ a -23,33‰, empobrecimento isotópico que sugere o estabelecimento de uma formação florestada, por volta de 2.500 anos A.P. (CALEGARI, 2008).

Em Guarapuava (PR), os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre -16,70‰ e -23,84‰. Entre 150 e 140 cm, o valor de -20,37‰ indica mistura de plantas C₃ e C₄ com maior quantidade de C₃. Entre 120 e 20 cm, os valores de -16,91‰ a -21,22‰ sugerem mistura de plantas C₃ e C₄. Na amostra de 0-10 cm, o valor isotópico de -23,84‰ caracteriza a vegetação atualmente encontrada na área, a Floresta Ombrófila Mista (CALEGARI, 2008).

Em Ponta Grossa (PR) os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram entre -13,20‰ e -26,19‰. Entre 200 e 33 cm, o valor isotópico mantém-se constante em torno de -13,0‰, caracterizando

plantas C₄. Na amostra de 0-10 cm, o valor isotópico estabelecido em -26,19‰ caracteriza a vegetação atual, formada por Mata de Galeria (CALEGARI, 2008).

No Planalto das Araucárias, Paisani *et al.* (2014) encontraram valor isotópico de -17,4‰ na base e o valor isotópico de -16,8‰ no topo de um paleossolo em fundo de vale, que, conforme os valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, não apresenta troca de vegetação. Em outro paleossolo na mesma condição na paisagem, os resultados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ -19,6‰ na profundidade de 30 cm e de -22,9‰ a -24,6‰ na amostra de 15 cm registram a troca de vegetação, passando de uma vegetação mais aberta para uma vegetação com maior quantidade de elementos arbóreos no período mais recente (PAISANI *et al.*, 2014).

Em uma sequência pedoestratigráfica de alta encosta localizada em Campo Alegre (SC), Oliveira *et al.*, (2006) encontraram valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ entre -19,5‰ (115 cm - 15.260 anos A.P.) a -22‰ (40 cm) indicando uma mistura de plantas C₃ (árvores) e C₄ (gramíneas).

Com base em estudos de diversos locais - como os acima citados - a análise isotópica $\delta^{13}\text{C}$ tem se mostrado eficiente para indicar a composição e até mesmo as trocas de vegetação de determinadas áreas (PESSENDA *et al.*, 2005), motivo pelo qual tem sido amplamente utilizada para fins de reconstrução paleoambiental, não somente na região Sul, mas também em outras regiões brasileiras.

2.6. DATAÇÃO ^{14}C

O carbono compõe cerca de 40 a 50% da matéria orgânica viva. Apresenta-se na natureza na forma elementar (carbono amorfo, diamante ou grafite) ou em estado de oxirredução (MARTINELLI *et al.*, 2009) e as maiores quantidades de carbono estocado estão nos solos das florestas tropicais.

O carbono se forma naturalmente na alta atmosfera, onde raios de alta energia se chocam com átomos gasosos, provocando a emissão de nêutrons. Estes últimos se chocam com átomos de nitrogênio e, através desse processo, tem-se a formação do ^{14}C . Após sua formação, ele se combina com o oxigênio, resultando em molécula de gás carbônico (CO₂) que, pela fotossíntese, é absorvida pelas plantas em quantidades bem pequenas ao longo do seu ciclo de vida (PEZZO, 2002).

Com a morte do indivíduo, cessa a absorção de carbono e o ^{14}C que já tinha sido absorvido emite radiação β e vai virando ^{14}N , processo que se chama decaimento. A datação

por ^{14}C revela, então, há quanto tempo o indivíduo morreu (PEZZO, 2002). O ^{14}C decai a taxas constantes, sua meia vida foi determinada em 5.568 ± 30 anos, que representa um erro de aproximadamente 3% (PESSEDA *et al.*, 2005).

A datação por ^{14}C é utilizada para identificar a idade real de um material e tem sido utilizada para estabelecer a cronologia de mudanças ambientais ao longo do Quaternário por vários autores, como Calegari (2008), Bertoldo *et al.*, (2014; 2010), Guerra (2010), Paisani *et al.*, (2014), Paisani, Pontelli e Calegari (2012), Oliveira *et al.* (2006), que estudaram perfis de solo, paleossolos, seções estratigráficas nos Estados do Paraná e Santa Catarina, como exemplificado a seguir.

O horizonte húmico de um perfil de LATOSSOLO em Xanxerê (SC) foi datado por Calegari (2008) e as idades obtidas para este perfil foram de 2.740 anos A.P entre 50-70 cm e 6.730 anos A.P. entre 100-120 cm.

Em Pato Branco (PR), Bertoldo *et al.*(2010;2014) encontraram a data de 1.720 anos A.P. à 30 cm de profundidade; a aproximadamente 60 cm, a datação revelou a idade de 4.210 anos A.P; na profundidade de 80 cm, a idade verificada foi de 8.780 anos A.P.; aos 95 cm, a datação foi de 10.590 anos A.P. e, por fim, na profundidade de 125 cm a idade encontrada foi de 15.300 anos A.P.

No estudo de uma seção estratigráfica no Planalto de Palmas (PR) e Água Doce (SC), Guerra (2012) identificou paleossolos que foram datados entre 41.000 e 25.000 anos A.P. pelo método ^{14}C . Outros paleossolos nessa mesma região foram datados por Paisani *et al.*, (2014): um deles indicou as idades de 41.064 anos A.P. na base do perfil e aproximadamente 29.000 anos A.P. no topo; Outro apresentou idade aproximada de 19.000 anos A.P. na profundidade de 30 cm e de 23.000 e 28.000 anos, aproximadamente, na amostra de 15 cm (centro e topo da amostra).

No mesmo planalto, Paisani, Pontelli e Calegari (2012) dataram uma unidade estratigrafia e obtiveram a idade de 41.160 anos A.P. para a espessura de 150-155 cm.

Duas sequências pedoestratigráficas localizadas em Campo Alegre (SC) foram estudadas por Oliveira *et al.* (2006), sendo uma em alta encosta e outra em cabeceira de vale. A sequência pedoestratigráfica de alta encosta foi datada pelo método ^{14}C , em 15.260 anos A.P. na porção média da sequência e 19.130 anos A.P na parte mais profunda. A sequência pedoestratigráfica de cabeceira de vale pode ser dividida em Sequência Inferior, cuja idade é de 50.000a 37.000 anos A.P., Sequência Intermediária, entre 37.000 a 6.600 anos A.P. e Sequência Superior de 6.600 anos A.P.(OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Vários outros autores se utilizaram da técnica da datação pelo método do ^{14}C no Sul do Brasil (Item 2.0) em estudos de solos, paleossolos e seções estratigráficas e encontraram idades variadas para diferentes locais e condições na paisagem.

3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Abelardo Luz, Estado de Santa Catarina, divisa com o Estado do Paraná, na área da Estação Ecológica Mata Preta – ESEC Mata Preta. A ESEC da Mata Preta possui 6.563 hectares e está dividida em três fragmentos. Os perfis de solo estudados encontram-se no fragmento 3 da área da ESEC Mata Preta (Figura 3).

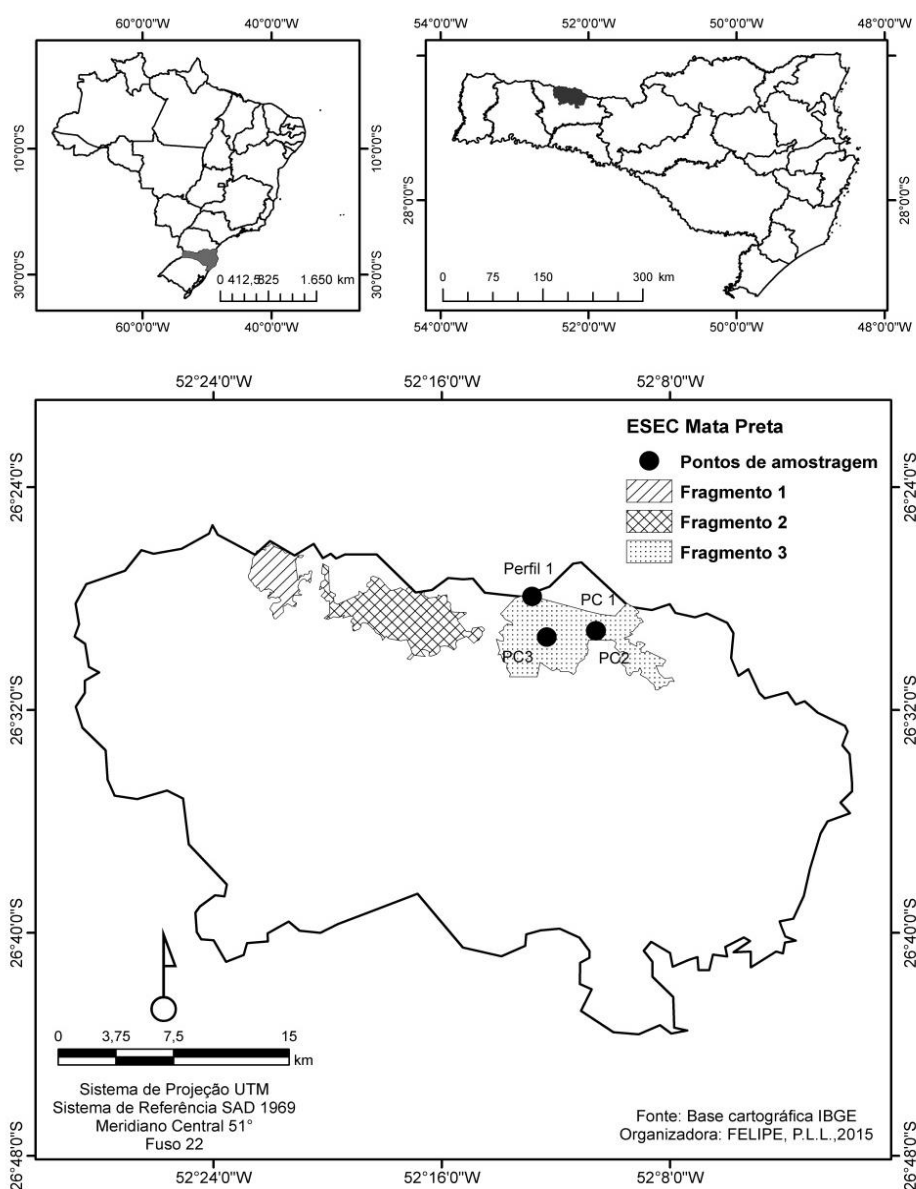


Figura 3: Localização da Área de Estudo fragmento 3 da ESEC Mata Preta e pontos de amostragem e coleta (Perfil 1 e seções de controle PC1, PC2 e PC3).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: ASPECTOS REGIONAIS

3.2.1 Geologia

A área de estudo encontra-se sobre cobertura basáltica Mesozóica (SCHEIBE, 1986), onde há ocorrência de rochas efusivas da sequência básica da Formação Serra Geral, pertencentes ao grupo São Bento (SANTA CATARINA, 1991; 1994).

A Formação Serra Geral é constituída de sucessão de rochas de origem vulcânica (SARTORI *et al.*, 1982) e lentes de camadas arenosas e ocorre de forma generalizada na bacia sedimentar do Paraná, resultado do intenso vulcanismo de fissura durante o Cretáceo inferior (SCHNEIDER *et al.*, 1974). A sucessão de derrames da Formação Serra Geral é composta por sequência básica, representada por basaltos e fenobasaltos e por sequência ácida, que ocorre em direção ao topo do pacote vulcânico, representada por riolitos, riodacitos e dacitos (SANTA CATARINA, 1991; NARDY, 1993; ORLANDI FILHO *et al.*, 2009; MACHADO, 2013). Em Abelardo Luz a Formação Serra Geral é de aproximadamente 1.110 m de espessura (FREITAS, 2003).

A região Noroeste de Santa Catarina situa-se em área de coberturas Fanerozóicas, na Bacia Sedimentar Fanerozóica do Paraná. Mais especificamente, localiza-se na unidade de relevo Planaltos e chapadas da Bacia do Paraná, que abrange parte da região Centro-Oeste e Sudeste brasileiro e os estados da região Sul (ROSS, 2003). Regionalmente, a ESEC Mata Preta está situada no Planalto Basáltico de Santa Catarina, que compõe a maior parte desse Estado, possui superfície regular e apresenta inclinação suave para Oeste (ALMEIDA *et al.*, 2013).

3.2.2. Geomorfologia e Hidrografia

A ESEC da Mata Preta encontra-se na Região Hidrográfica do Meio Oeste Catarinense, que integra a bacia do Rio Uruguai (BRASIL, 2013), sendo os principais cursos dessa região hidrográfica os Rios Chapecó e Irani (FREITAS, 2003). O Rio Chapecó está localiza a cerca de 8 km ao sul do fragmento 3 da ESEC. A área correspondente abacia hidrográfica do Rio Chapecó pertence à Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu/ Rio Uruguai, é caracterizada por relevo muito dissecado, vales profundos e patamares

com altitudes de cerca de 300 m (SANTA CATARINA, 2004). As bacias hidrográficas dos Rios Irani e Anta integram a Unidade do Planalto dos Campos Gerais. Esta unidade corresponde a restos de uma superfície de aplainamento com cotas altimétricas mais elevadas (cerca de 600/800 m); apresenta relevo pouco dissecado, colinas de vertentes longas e drenagem pouco profunda, com corredeiras e pequenas cachoeiras. É nesta segunda unidade que o município de Abelardo Luz está inserido (SANTA CATARINA, 2004).

De acordo com a subdivisão geomórfica proposta por Paisani *et al.* (2008), a área encontra-se na superfície V - 1º Superfície Interplanáltica de Clevelândia, Honório Serpa, Mangueirinha, Candói e Guarapuava (Figura 4), com perfis que apresentam depósitos tecnogênicos sobre LATOSSOLOS, de relevo bem dissecado, mesmo as condições paleoambientais da área terem sido mais favoráveis ao processo de alteração em detrimento do processo de erosão (PAISANI *et al.*, 2008).

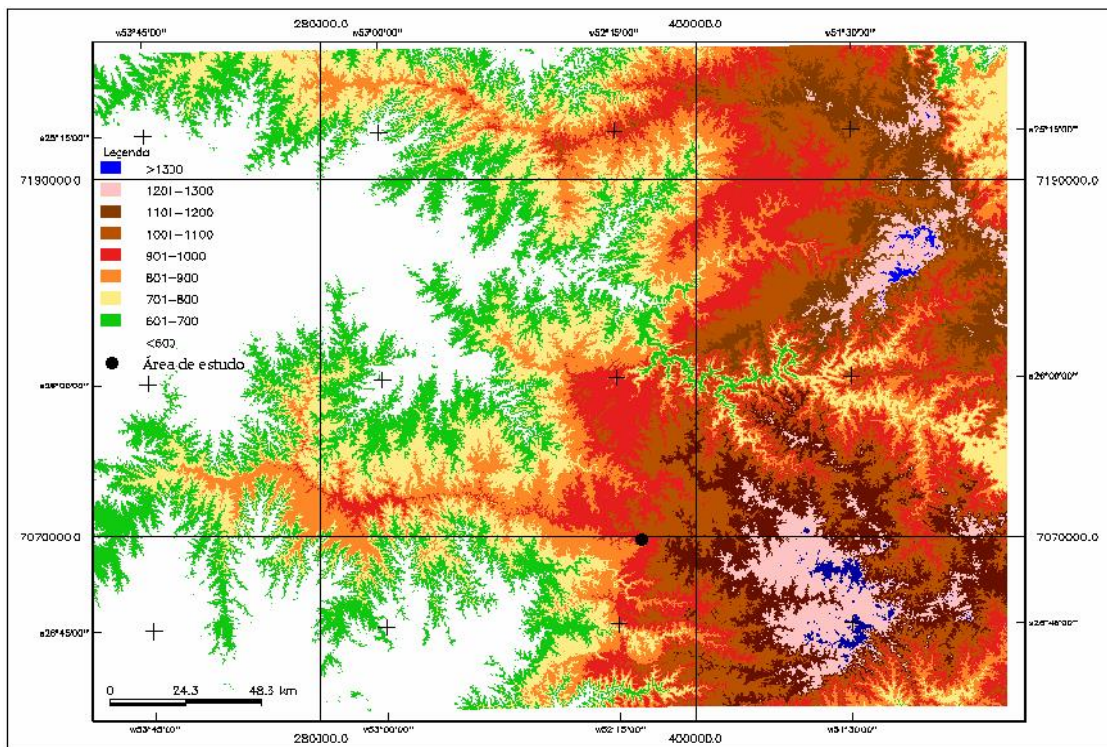


Figura 4: Localização da área de estudo na Superfície V – 1º Superfície Interplanáltica de Clevelândia, Honório Serpa, Mangueirinha, Candói e Guarapuava. Fonte: Lima, 2013 (adaptado).

As cotas altimétricas da superfície aplainada V estão entre 901 a 1.000 m, onde se encontram as maiores elevações da Serra da Fartura (PAISANI *et al.*, 2008). Neste local, a superfície V revela-se fortemente dissecada e apenas o Perfil 1 (P1) pode ser considerado um solo representativo dessa unidade.

3.2.3. Solos

Os solos predominantes na região de Abelardo Luz são LATOSSOLOS, CAMBISSOLOS e NEOSSOLOS LITÓLICOS - comumente com horizonte superficial húmico - e se distribuem conforme a posição na paisagem (SANTA CATARINA, 2004; EMBRAPA, 2004):

- LATOSSOLOS BRUNOS Húmicos Álicos: ocorrem nas áreas mais elevadas e de relevo estável nas bacias dos Rios Chapecó / Irani /Antas.

- LATOSSOLOS BRUNOS Intermediários e LATOSSOLO Roxo Álico: possuem ocorrência generalizada nas bacias, principalmente nas áreas de relevo ondulado, em posição de relevo mais baixa.

- LATOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos e Eutroféricos: ocorrem em áreas próximas à calha dos rios e em áreas de relevo estabilizado;

- NITOSSOLOS BRUNOS Húmicos Álicos: compõe partes do relevo suave ondulado a ondulado;

- CAMBISSOLOS BRUNOS Húmicos Álicos: encontrados nas porções mais altas do relevo ondulado e suave ondulado, de altitudes próximas a 1.300 m;

- CAMBISSOLOS Eutróficos: ocupam mais de 50% da área das bacias hidrográficas, situados em qualquer posição do relevo;

- NEOSSOLO LITÓLICO: são encontrados nas regiões mais dissecadas, de relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado.

3.2.4. Vegetação

A vegetação primária da região é representada pela Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista, podendo conter algumas manchas de campo no setor Norte das bacias hidrográficas dos Rios Chapecó/Irani/Antas. Essa vegetação primária foi muito degradada na região devido ao valor econômico de sua madeira (SANTA CATARINA, 2004).

A vegetação predominante nas proximidades do município de Abelardo Luz é de Floresta Ombrófila Mista com Araucária (Mata de Araucária) (PROCHNOW, 2009). Espécies características da Mata de Araucária, como o Pinheiro do Paraná (*Araucária angustifolia*), a Imbuia (*Ocoteaporosa*), a Sapopema (*Sloanealasiocoma*) e a Erva-mate (*Ilex*

paraguariensis), são facilmente encontradas nos fragmentos da ESEC. Mais informações da composição da mata são apresentadas no Item 2.1.

3.2.5. Clima

A faixa ocidental da região Sul do país apresenta clima subtropical úmido, com inverno fresco a frio, onde atuam mais fortemente as massas de ar Polar Atlântica (mPA) e Tropical atlântica (mTA) e a massa Tropical Continental (mTC). As chuvas são regularmente distribuídas e a média anual é de 1.250 a 2.000 mm. A variabilidade térmica anual é acentuada, entre 14 °C e 22 °C, podendo cair para 10 °C nas áreas mais elevadas (MENDONÇA, OLIVEIRA, 2007).

Os climas definidos para o Estado de Santa Catarina são (SANTA CATARINA, 2001):

-Cfa - Clima Subtropical (mesotérmico úmido e verão quente) nas porções Oeste e Sudoeste do Estado e nas áreas serranas e litorâneas;

Cfb - Clima Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno) predominante de Norte a Sul da faixa central do Estado;

Na área da ESEC predomina o tipo Cfb.

3.3. ESEC DA MATA PRETA: FINALIDADES E CARACTERÍSTICAS LOCAIS

3.3.1. Finalidades

A Estação ecológica Mata Preta é uma categoria das Unidades de Conservação. Constitui-se em uma área de proteção integral da flora e fauna, destinada à preservação da natureza e realização de pesquisas de cunho científico (BRASIL, 2011). A criação de Estações ecológicas no Brasil visa a preservação dos ecossistemas naturais remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, realização de pesquisas científicas e desenvolvimento de atividades com vistas à educação ambiental (PROCHNOW, 2009). As Zonas de Amortecimento são áreas ao entorno dos parques, sujeitas a restrições específicas com objetivo de minimizar impactos negativos sobre a UC. Na ESEC Mata Preta, a Zona de Amortecimento é de 500 metros ao longo de todo seu perímetro.

3.3.2. Aspectos do Meio Natural na ESEC Mata Preta

O relevo da área da ESEC Mata Preta acompanha o relevo regional (Ver item 3.2.2) e varia de suave ondulado à ondulado (Figuras 5,6,7). Em sua maior parte, apresenta declividades moderadas (entre 5 e 10 %), à exceção do setor norte da ESEC, onde predomina declividade superior a 25% (Figura 6).

Dentro do fragmento 3 da ESEC Mata Preta, existem vários cursos d'água pequenos de até 3ª ordem e um lago artificial (Figura 8A). A direção do fluxo é variável, tanto no sentido Norte-Sul, quanto no sentido Nordeste-Sudoeste.

A ESEC constitui um remanescente da Floresta Ombrófila Mista com Araucária em diferentes estágios de conservação. Destaca-se a forte presença de indivíduos de *Araucária angustifolia*, que ultrapassam o dossel, comportando-se como espécie emergente (Figura 8 B e C).



Figura 5: Aspecto da vegetação no interior do fragmento 3 da ESEC Mata Preta. A) Aspecto da vegetação próximo ao lago. B) Aspecto do interior da vegetação. C) Aspecto geral da vegetação da ESEC Mata Preta

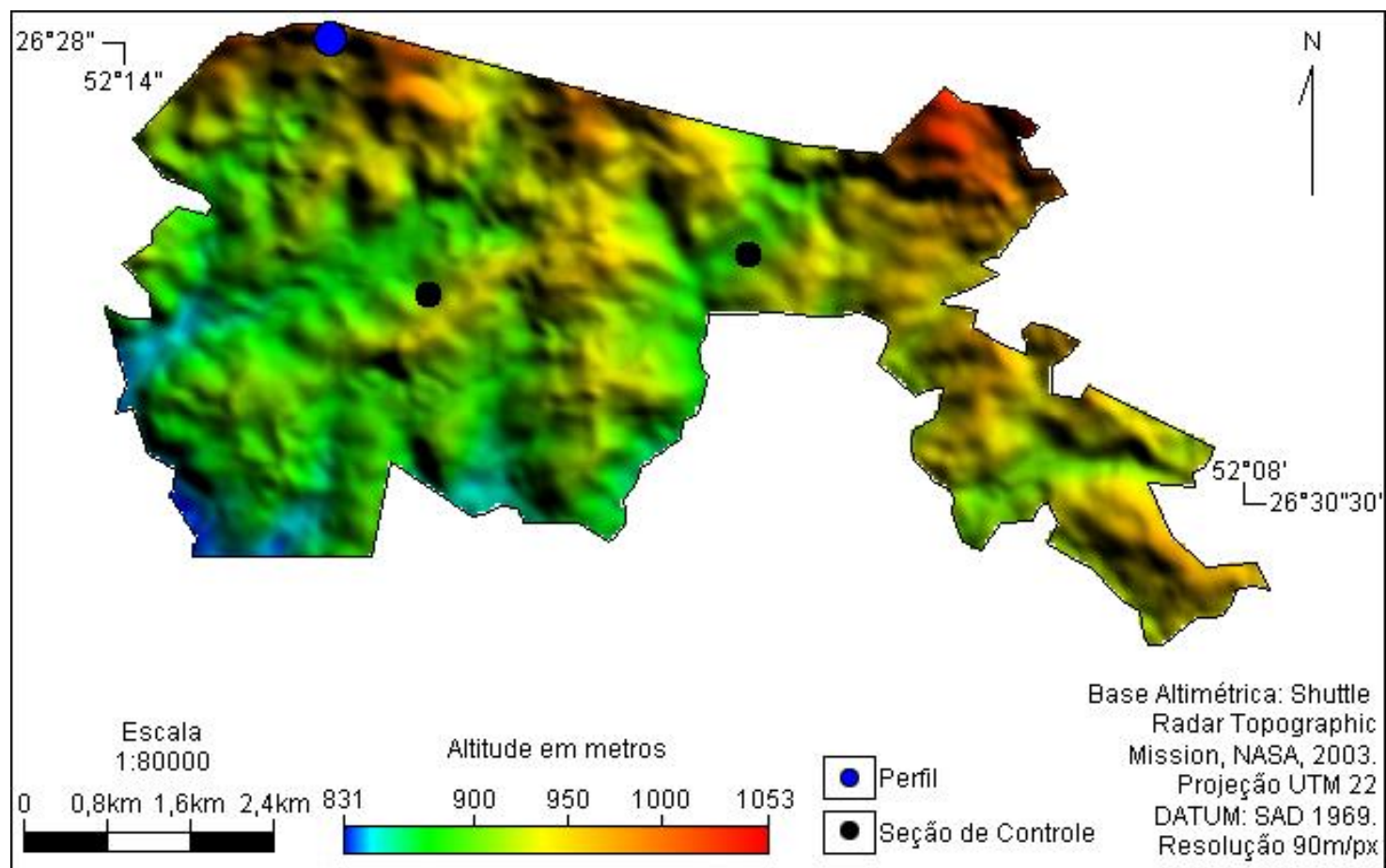


Figura 6: Mapa Hipsométrico do fragmento 3 da ESEC Mata Preta.

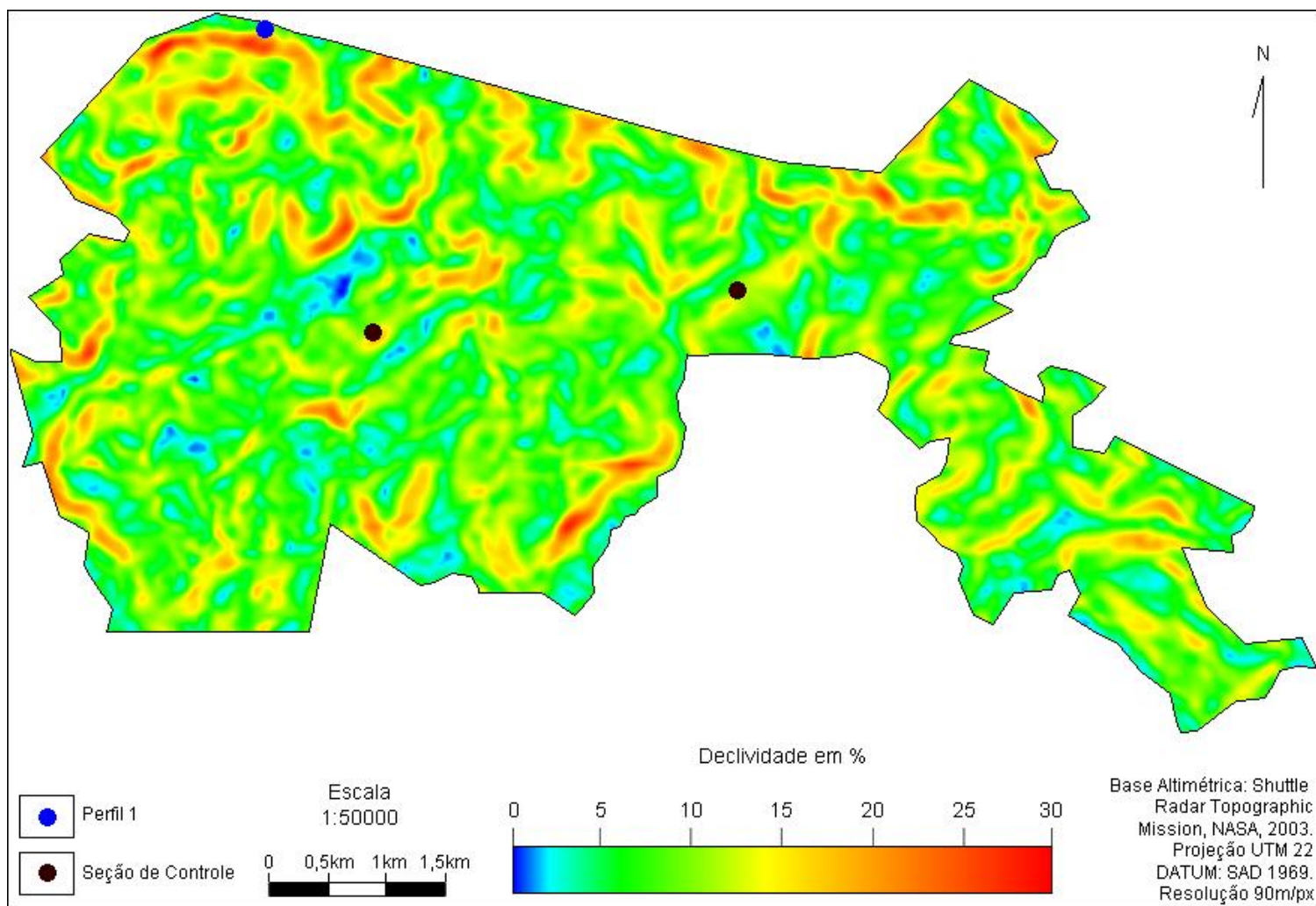


Figura 7: Mapa de declividade do fragmento 3 da ESEC Mata Preta

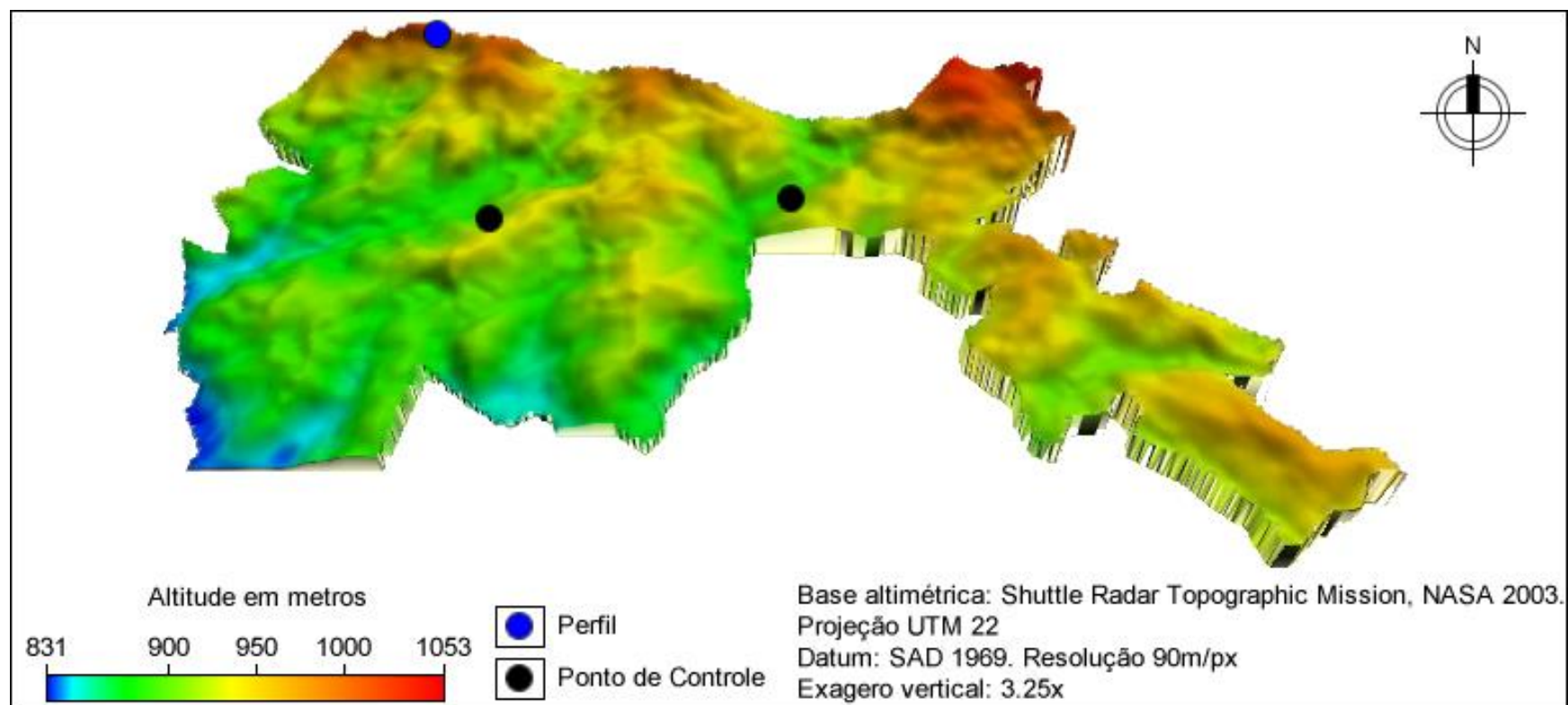


Figura 8: Bloco diagrama do fragmento 3 da ESEC Mata Preta.

Em diversos locais, verifica-se a existência de clareiras em meio à mata, isso porque algumas áreas dentro da atual ESEC foram exploradas para extração de madeira (Figura 9) e para reflorestamento com *Pinnus*.



Figura 9: Clareira próxima a estrada no interior do fragmento 3 da ESEC Mata Preta. Área anteriormente explorada para retirada da madeira.

Atualmente, nestas clareiras a vegetação está se regenerando naturalmente e, embora já tenha sido iniciado, o processo de recuperação da Floresta é bastante lento.

Na área de estudo, o clima é o Cfb – Clima Temperado, Mesotérmico Úmido com verão ameno (SANTA CATARINA, 2001). Com base nos dados da Estação Meteorológica de Palmas (PR) (PARANÁ, 2015), do período entre 1970 a 2014 (Figura 10), a média anual da temperatura é de 16,5 °C.

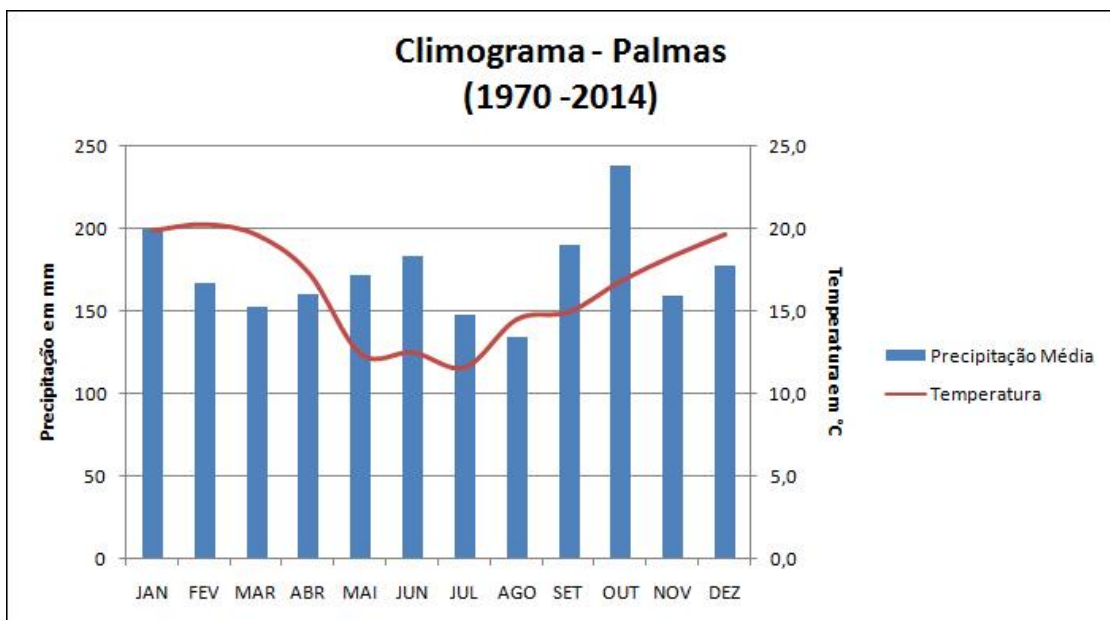


Figura 10: Climograma Estação Meteorológica de Palmas (PR) - 1970-2014.

A média máxima é de cerca de 20 °C, enquanto a média mínima é de 11,6 °C, sendo registradas nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março as temperaturas mais elevadas, e nos meses de maio, junho e julho as temperaturas mais baixas. A média anual de

precipitação é de 2.073 mm, distribuídos ao longo de todo o ano, não havendo estação seca definida, conforme dados dos últimos 30 anos da Estação Meteorológica de Palmas (PR) (Figura 5).

A média anual da umidade relativa do ar é de 77,3% (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ s.d.).

4. MATERIAIS E MÉTODO

4.1. COLETA DE DESCRIÇÃO DO SOLO

Na escolha do local para a abertura da trincheira do Perfil 1, foram consideradas a posição topográfica (Topo) e a preservação da vegetação, visando evitar o efeito de erosão. O Perfil 1 está localizado a 1.007 m acima do nível do mar, na latitude de 26°27'55.4''S e longitude de 52°12'49.9''W.

A descrição do solo foi realizada conforme critérios apresentados em Santos *et al.* (2005). A coleta de solo foi feita por horizonte em um perfil de alteração de 140 cm de profundidade, para fins de caracterização e classificação, e em camadas sistemáticas, de 10 em 10 cm, do topo até a base do perfil para a análise isotópica.

Para datação, considerando a profundidade do perfil, foi coletado cerca de 2 kg de solo a 15-30 cm e 60-79 cm.

Além do Perfil 1, foram selecionados mais três pontos de controle (PC's) – PC1, PC2 e PC3 - para definição da assembleia fitolítica típica da FOM e para observar a variabilidade dos morfotipos nos horizontes superficiais de solo sob essa floresta. O PC1 situa-se em média alta vertente, a 914 m de altitude, na latitude 26°29'09.3'' S e longitude 52°10'35.8''W. O PC2 se encontra em posição de média vertente, a 911 m de altitude, na latitude 26°29'09.5'' S e longitude 52°10'36.1''W, e o PC3 localiza-se em posição de terço médio da vertente, em um pequeno divisor local, a 904 m de altitude, na latitude 26°29'22.9'' S e longitude 52°12'19.1''W.

Para os pontos de controle, foram coletadas amostras da serrapilheira e dos horizontes superficiais do solo (0-10 cm e 10-20 cm) apenas para realização da análise fitolítica e isotópica.

4.2. ANÁLISES FÍSICAS DE ROTINA

4.2.1. Análise Granulométrica e Argila Dispersa em Água (ADA)

A determinação da granulometria do solo e do teor de argila dispersa em água foi realizada em todas as amostras coletadas por horizonte no Perfil 1 - para fins de caracterização e classificação do solo, empregando o método da pipeta, adaptado da Embrapa

(1997). As análises foram processadas no Laboratório de Física do Solo no campus de Marechal Cândido Rondon.

A classificação da textura de cada horizonte foi feita seguindo o subgrupamento de classes de textura apresentado por Embrapa (2013).

4.2.2 Densidade do Solo

A densidade do solo foi determinada pelo método dos anéis volumétricos de Kopecky, que foram amostrados por horizonte, com duas réplicas, conforme Embrapa (1997).

4.3. ANÁLISES QUÍMICAS DE ROTINA

4.3.1. Macro e Micronutrientes

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Instituto Agronômico de Campinas - IAC. Foram realizadas as análises para determinação de Macronutrientes (pH-CaAl₂, fósforo, potássio, cálcio e magnésio), Micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) e matéria orgânica. A partir desses resultados, foram calculados a CTC – capacidade de troca catiônica, a SB - soma de bases e a V% - saturação de bases.

4.3.2 Ataque Sulfúrico

O ataque sulfúrico foi realizado para determinação dos óxidos totais (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO₂) da terra fina seca ao ar (TFSA) e para cálculo das relações moleculares – Ki e Kr –, com o intuito de compreender o estágio de intemperização do solo da área estudada (EMBRAPA, 1997). As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP, em Piracicaba (SP),

4.4. COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA ($\delta^{13}\text{C}$), DETERMINAÇÃO DO CARBONO TOTAL E DA CRONOLOGIA

A análise isotópica, cuja finalidade é informar a composição isotópica da vegetação da área em determinado momento, foi realizada pelo Laboratório de Isótopos Estáveis, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP – Campus Luiz de Queiroz (Piracicaba- SP). A determinação de $\delta^{13}\text{C}$ foi realizada em um analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa ANCA SL 2020 da Europa Scientific. Os resultados de COT são expressos em gramas por quilograma (g. kg^{-1}) de peso seco e os da composição isotópica são apresentados em unidade de δ (‰), determinada em relação ao padrão internacional VPDB, e referem-se à média de duas determinações, com precisão de $\pm 0,2\%$.

Para determinação da cronologia das possíveis mudanças de vegetação, foram selecionadas duas amostras do perfil (15-30 cm e 60-80 cm) para datação ^{14}C . As amostras de solo foram enviadas ao Laboratório Beta Analytic Inc. (Miami, EUA), para determinação por Espectrometria de Massa Acoplada ao Acelerador de Partículas. A idade ^{14}C é expressa em anos A.P. (antes do presente), normalizada a $-25,00\%$ (VPDB), sendo considerado presente o ano de 1950 e calibrados em anos de calendário (cal anos AP) pela Beta Analytic usando o programa Pretoria Calibration Procedure e o banco de dados INTCAL04.

4.5. EXTRAÇÃO DE FITÓLITOS

A extração de fitólitos segue os procedimentos adaptados de Mehra e Jackson (1960) e Madella, Powers-Jones e Jones (1998), testados e descritos como Método 2 em Calegari *et al.* (2013b). Esse método se mostrou o mais eficiente quanto à diversidade e quantidade de fitólitos recuperados de solos ricos em óxidos e hidróxidos de Alumínio e Ferro e argilosos, como os da área de estudo. O método consiste em pesar 4 gramas de TFSA e remover a matéria orgânica com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) e dos recobrimentos de óxidos com solução de Citrato de Sódio + Bicarbonato de sódio, acrescentando o Ditionito de Sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$). Em seguida é feita a remoção da argila por centrifugação e a concentração e coleta de fitólitos por meio de flutuação densimétrica, utilizando Politungstato de Sódio ($\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})\text{H}_2\text{O}$) com densidade de $2,35 \text{ g./cm}^3$.

4.6. CONTAGEM, IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO E DE FITÓLITOS

Com o material recolhido da extração, foram feitas lâminas com óleo de imersão para observação 3D, para posterior observação em microscópio ótico petrográfico com magnificação de 40X e 63X, para caracterização da assembleia fitolítica.

Para a caracterização da assembleia, foram contados no mínimo 200 fitólitos com significado taxonômico, ao longo de três linhas de cada lâmina/amostra, conforme Carnelli *et al.* (2002). Os fitólitos extraídos foram nomeados conforme International Code for Phytolith Nomenclature – ICPN 1.0 (MADELLA; ALEXANDRE; BALL, 2005).

Os fitólitos foram agrupados de acordo com o significado taxonômico e ecológico de cada grupo, baseado em autores como Mulholland e Rapp (1992), Twiss (1992), Fredlund e Tieszen (1994), Alexandre *et al.* (1997b), Alexandre e Meunier (1999), Runge (1999) e Parr e Watson (2007). Também, nas coleções de referência de Raitz (2012), para a vegetação de campo e da Floresta Ombrófila Mista com Araucária (FOM) e, Cecchet (2012), Felipe (2012) e Brustolin e Calegari (2013, inédito) para a Floresta Ombrófia Densa (Quadro 2).

Quadro 2: Representação esquemática dos grupos de morfotipos com significado taxômico e ecológico adotado (Adaptado de Calegari, 2008)

Divisão	Família	Sub-família	MORFOTIPO	
Angiospermae	Poaceae	Panicooideae	Bilobate short cell Polylobate Cross	
		Pooideae	Trapeziform short Cell Rondel	
		Chloroideae	Saddle	
		Bambusoideae	Trapeziform bilobate echinate	
			Elongate long cell	
			Cuneiform bulliform cell Parallepipedal bulliform cell	
			Hair	
		Cyperaceae	Hexagonal (achne) Hatshape (cones)	
		Eudicotiledoneae		Globular psilate Globular rugose Elipsoidal psilate
				Block
	Arecaceae		Globular echinate	
		Head shape		
Gimnospermae	Araucariaceae		Crater shaped cell	

Em todas as amostras, inclusive na serrapilheira, foram encontrados corpos de sílica, porém, alguns deles não são passíveis de classificação, por não apresentarem uma forma

específica, estes foram denominados de morfotipos **Não Identificados**, e aqueles morfotipos quebrados, corroídos cujo estado de conservação impossibilita a classificação, foram nomeados como **Não Identificáveis**.

4.7 ÍNDICES FITOLÍTICOS

Para a interpretação ambiental das assembleias de fitólitos obtidos em profundidade, foram calculados os seguintes índices fitolíticos:

- **Índice de Adaptação a Aridez (Iph):**

$$Iph = \frac{Saddle}{Saddle + Cross + Bilobate\ short\ cell} * 100$$

- **Índice Climático (Ic)**

$$IC = \frac{Rondel + Trapeziform\ (short\ cell\ e\ polylobate)}{Rondel + Trapeziform\ (short\ cell\ e\ polylobate) + Saddle + Cross + bilobate\ short\ cell}$$

- **Índice de Cobertura arbórea (D/P):**

$$D/P = \frac{Globular\ granulate}{bilobate + polylobate + cross + trapeziform\ (sinuate, polylobate, short\ cell) + rondel + saddle}$$

5. RESULTADOS

5.1 ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

O perfil estudado se encontra em posição de topo de vertente, no divisor regional entre as bacias hidrográficas dos Rios Iguaçu (ao Norte) e Uruguai (ao Sul). Trata-se de um perfil de alteração que possui 140 cm de espessura, e é composto por 5 horizontes: A, AB, BA, Bi e CR (Figura 11).

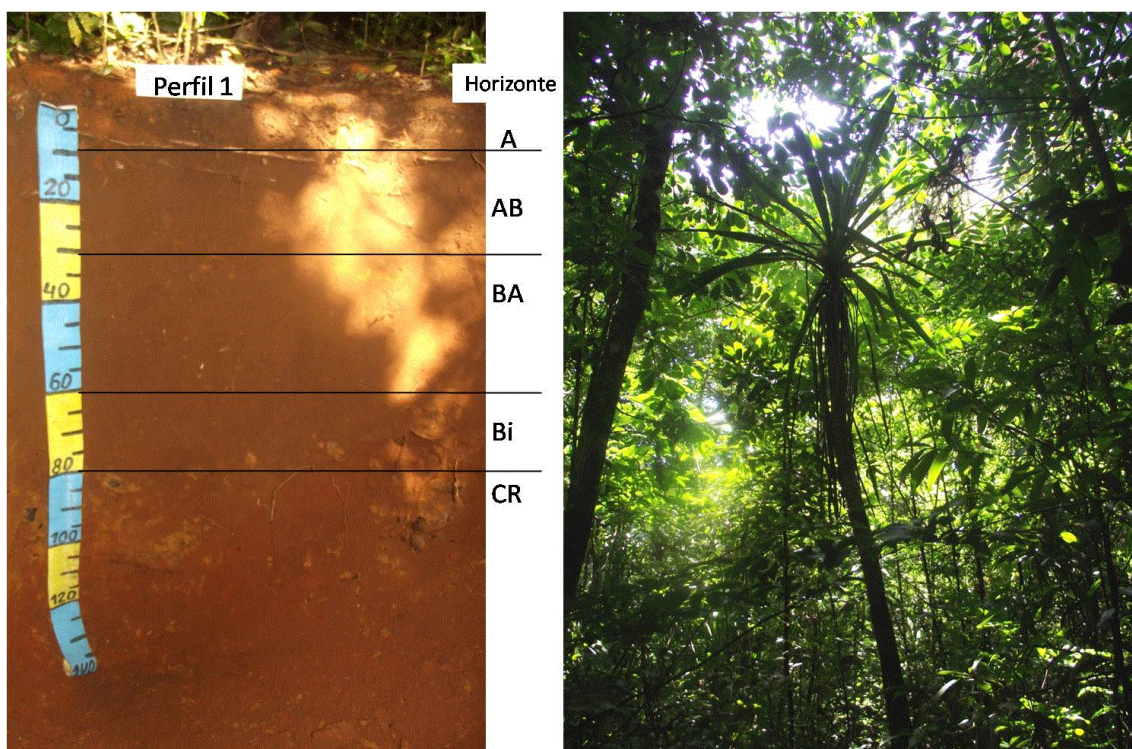


Figura 11: Perfil de solo e aspecto da vegetação.

De acordo com atributos macromorfológicos (Apêndice 1), o solo apresenta cor (úmida) bruno-muito escuro (7.5YR 2.5/3) no horizonte A húmico, passando a bruno-avermelhado escuro (5YR 3/4) nos demais horizontes B. Em sua maior parte apresenta textura franco argilosa (544g.kg⁻¹ e 439,5 g.kg⁻¹ de argila), diferenciando-se apenas no horizonte CR, que apresenta textura franca (331,1 g.kg⁻¹ de argila e 486,9 g.kg⁻¹ de silte) (Tabela 1). Esse aumento da fração silte em profundidade se explica pelo menor grau de desenvolvimento pedogenético do material e pela proximidade da rocha pouco alterada subjacente.

A estrutura no horizonte A apresenta-se granular pequena e fraca (tendendo a grumosa). No restante do perfil observou-se estrutura primária em blocos subangulares grandes, que se desfazem em blocos muito pequeno e pequeno no subhorizonte AB, pequeno

a médio nos horizontes BA e Bi e médio no horizonte C, sendo fraca em quase todo o perfil, a exceção do horizonte CR, onde a estrutura secundária é mais maciça. A consistência seca no horizonte A manteve-se ligeiramente dura à ligeiramente dura e dura nos horizontes Bi e CR. A consistência úmida variou de muito friável, nos horizontes superficiais, à friável no Bi. Os horizontes superficiais apresentaram-se ligeiramente pegajosos e ligeiramente plásticos e os horizontes CR menos plástico e pegajoso que os demais, em concordância com os dados granulométricos, que indicaram aumento do teor das frações areia e silte em detrimento da fração argila (Tabela 1).

A transição entre os horizontes A e B é difusa e plana, com exceção da transição entre o Bi e CR e o CR e a rocha, que se dá de forma quebrada, clara (fragmentária).

Tabela 1: Atributos Físicos CAMBISSOLO HÚMICO

Horizonte	Profundidade cm	Areia	Silte Argila ADA*			Textura**	Silte/ argila	DS g.cm ⁻³
			(g.kg ⁻¹)					
A	0-15	56,5	503,8	439,5	189,0	Franco argilosa	1,1	0,64
AB	15-30	42,1	462,9	495	214,05	Franco argilosa	0,9	1,0
BA	30-60	36,7	429,8	533,5	206,4	Franco argilosa	0,8	1,0
Bi	60-79	38,9	417,1	544	248,45	Franco argilosa	0,8	1,03
CR	79-140	182	486,9	331,1	277,3	Franca	1,5	-

* ADA: Argila Dispersa em água

** Triângulo Textural Simplificado – EMBRAPA, 2013.

A relação silte/argila variou entre 0,8 e 1,1 nos horizontes A e B e 1,5 no horizonte CR. A densidade do solo apresentou pequena variação do topo para a base do perfil, de 0,64 g.cm⁻³ a 1,3 g.cm⁻³ (Tabela 1), mostrando-se mais homogênea entre AB, BA e Bi. No horizonte Bi, a estrutura pouco desenvolvida imprime menor grau de estruturação e, portanto, maior densidade de solo (Tabela 1). Com base na descrição morfológica e nos dados físico-químicos obtidos para este perfil (APÊNDICE 3), trata-se de um CAMBISSOLO HÚMICO.

A descrição morfológica das amostras superficiais dos PC's é apresentada no apêndice 1. Nas amostras dos pontos de controle, foram realizadas apenas as análises de

granulometria e de argila dispersa em água, para conhecer a composição granulométrica do material (Tabela 2).

Tabela 2: Granulometria dos pontos de controle

Profundidade cm	Areia	Silte	Argila	ADA	Textura*	Silte/argila	DS g.cm ⁻³
(g.kg ⁻¹)							
PC1							
0-10	51,6	485,1	463,3	115,5	Franco –argilosa	1,0	-
10-20	48,3	569,2	382,5	143,8	Franco –argilosa	1,5	-
PC2							
0-10	39,4	325,3	635,3	67,7	Argila	0,5	-
10-20	35,3	463,3	501,4	67,3	Franco –argilosa	0,9	-
PC3							
0-10	91,8	278,8	629,4	180,3	Argila	0,4	-
10-20	66,0	352,3	581,7	127,8	Franco –argilosa	0,6	-

* Argila Dispersa em água

** Triângulo Textural Simplificado – EMBRAPA, 2013.

De acordo com atributos macromorfológicos (Apêndice 1), o PC1 apresentou, na amostras mais superficiais (0-20 cm), cor (úmida) bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4) e textura franco-argilosa com variação entre 430,4 g.kg⁻¹ e 382,5 g.kg⁻¹ de argila. A estrutura foi classificada como grumosa, pequena e fraca. A consistência seca é ligeiramente dura e a consistência úmida, muito friável. A consistência molhada é ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica.

No PC2 a cor úmida das amostras superficiais foi classificada como bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/3). Esse ponto de controle apresentou textura argila em 0-10 cm (635,3 g.kg⁻¹), e franco-argilosa em 10-20 (501,4 g.kg⁻¹) em 0-10 cm (635,3 g.kg⁻¹), estrutura granular média/grande e fraca. A consistência é similar a do PC1.

O PC3 possui cor (úmida) bruno avermelhado escuro (5YR 3/4), a textura em 0-10 cm foi argila (629,4 g.kg⁻¹) e franco-argilosa (581,7 g.kg⁻¹) em 10-20 cm, estrutura granular/blocos subangulares pequeno e fraca. Apresentou consistência (seco) ligeiramente dura e muito friável (úmido). Mostram-se também ligeiramente pegajosa e plástica.

5.2. CARBONO TOTAL A ANÁLISE ISOTÓPICA ($\Delta^{13}\text{C}$)

Os teores de carbono orgânico total (C-Total) apresentaram tendência de diminuição em profundidade, típico de solos tropicais e subtropicais (BOUTTON, 1996). Os teores variaram de 4,68% (0-10 cm) à 1,43% (70-80 cm) (Figura 12). Observa-se uma redução significativa na transição entre os horizontes A e B, típica de horizonte A húmico (EMBRAPA, 2013).

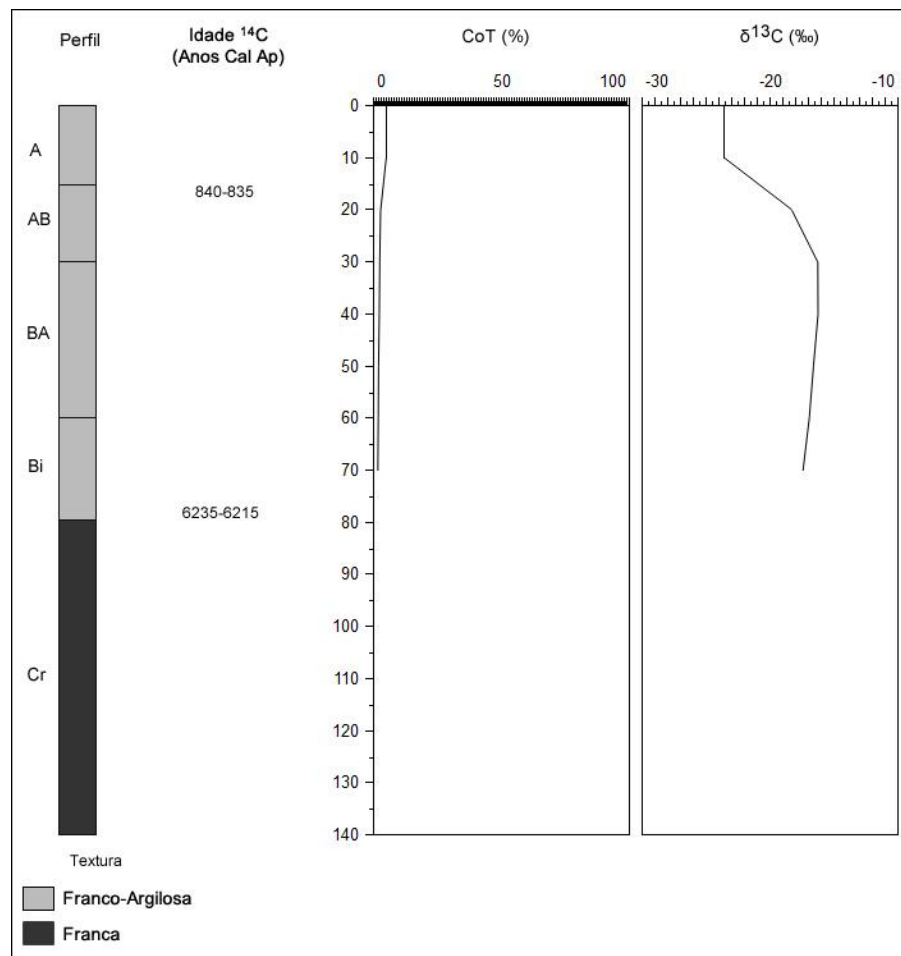


Figura 12: Distribuição do COT e Delta C-13 no CAMBISSOLO HÚMICO.

A composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da MOS apresentou variações entre -23,61‰ no topo, correspondendo ao sinal isotópico da vegetação atual, e -16,23‰ no topo do horizonte B. Os valores isotópicos indicam uma mistura de plantas de padrão fotossintético C_3 e C_4 , com predomínio de plantas C_4 de 80 cm a 30 cm, cujo valor $\delta^{13}\text{C}$ é de -23,61‰. O significativo empobrecimento é observado partir de 30 cm até a superfície onde se tem a serrapilheria da FOM (Figura 12).

Nos estudos isotópicos, as variações maiores que 4‰ podem ser interpretadas como mudança na comunidade de plantas, indicando uma mudança de vegetação (BOUTTON, 1996; TWISS, 2001; SAIA *et al.*, 2008). Assim, o empobrecimento isotópico na ordem de 5‰, observado entre as amostras 30-20 cm e 20-10 cm, assinala uma mudança de vegetação ao longo da evolução deste perfil. De acordo com as idades ^{14}C , a MOS no horizonte Bi (80-60 cm) tem idade entre 6.235 e 6.215 anos Cal. A.P. e a base do horizonte A (30-15 cm), onde o sinal isotópico marca uma mudança na estrutura da vegetação, foi datado em 840 e 835 anos Cal. A.P.(Tabela 3).

Tabela 3: Datação ^{14}C da fração humina do CAMBISSOLO HÚMICO

Profundidade	Nº laboratório Beta	Idade Convencional A.P.	Datação ^{14}C cal. anos A.P.
15-30 cm	379829	1010 +/- 30	840-835
60-80 cm	379830	5480 +/- 30	6.235-6.215

Quanto aos PC's, os teores de Carbono Orgânico variaram entre 3,83% (10-20 cm PC2) e 2,50% (10-20 cm PC3). Os valores de COT apresentados pelo PC3 são os menores valores encontrados em relação ao Perfil 1 e aos PC's, nessas profundidades.

Tabela 4: Valores de Carbono Orgânico Total (COT e $\delta^{13}\text{C}$)

Profundidades	COT (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
PC1		
Serrapilheira	3,41	- 22,55
0-10 cm	3,41	- 22,55
10-20 cm	3,18	-23,21
PC2		
Serrapilheira	3,24	-23,11
0-10 cm	3,24	-23,11
10-20 cm	3,83	-22,89
PC3		
Serrapilheira	2,72	-24,33
0-10 cm	2,72	-24,33
10-20 cm	2,50	-23,75

5.3. ANÁLISE FITOLÍTICA

5.3.1. Assembleia de fitólitos do solo

A análise de assembleia de fitólitos foi realizada na amostra de serapilheira e em mais sete amostras ao longo do Perfil 1– CAMBISSOLO HÚMICO (Tabela 5) (Apêndice 4), e nas serrapilheiras e amostras superficiais (0-10 cm e 10-20 cm) dos PC's (Tabela 6) (Apêndice 5).

O perfil 1 apresentou uma assembleia de fitólitos composta por 14 morfotipos identificados (Tabela 6). Destaca-se ao longo de todo o perfil a presença de morfotipos sem significado taxonômico, isto é, *Hair*, *Tracheid*, *Bulliform* e *Elongate*, produzidos por todas as Poaceae. O morfotipo *Bulliform*, de importante significado ambiental, possui, assim como o *Hair* e *Tracheid*, baixa participação na composição da assembleia fitolítica deste perfil. Exceção é observada na amostra superficial (0-10), onde o *Bulliform* representa 12,3% da assembleia de fitólitos identificados. O *Elongate* é o morfotipo mais frequente ao longo do perfil, correspondendo, em média, a 49,6% ($\pm 6,5^1$) da assembleia, seguido pelos morfotipos diagnósticos da família Poaceae (gramíneas), isto é, o *Saddle* (Subfamília *Chloridoid* – C₃/C₄) 13,5%(7,4) e *Rondele Trapeziform short cell* (Subfamília *Pooid* – C₃) 11,2% (6,6) e 3,1% (2,4), que são mais frequentes nas amostras subsuperficiais de solo. O *Bilobate*, fitólito diagnóstico da subfamília *Panicoid* (C₄) (Poaceae), acompanha a mesma tendência de frequência das demais Poaceae, representa em média 4,9% (3,3) da assembleia das amostras de solo e frequência muito baixa na serapilheira (1,3%).

O morfotipo *Trapeziform bilobate echinate*, diagnóstico de *Bambusoid* (Poaceae), foi encontrado apenas na serrapilheira e nas camadas superficiais de solo (até 20 cm), perfazendo total médio de 1,4% (2,4).

A Serapilheira, proveniente da atual FOM, apresenta um registro fitolítico de apenas duas famílias para o Perfil 1: Eudicotiledoneae, que corresponde a 41% da assembleia e Poaceae (*Elongate*, *Hair*, *Bulliforme* *Tracheid* – fitólitos produzidos por todas as Poaceae), que representa 43%; e subfamílias *Chloridoid* (6%), *Pooid* (5%), *Bambusoid* (3%), *Panicoid* (2%). Os morfotipos não identificados e não identificáveis representam 3,0 % e 9,06%, respectivamente.

¹ Desvio padrão

Tabela 5: Abundância de fitólitos na assembleia da serapilheira e do solo (em frequência absoluta e relativa %) do Perfil 1.

Porf. (cm)	Serapilheira		0-10		10-20		20-30		30-40		40-50		50-60		60-70		70-80	
	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%
<i>Bilobate short cell</i>	5	1,3	13	3,1	11	3,4	25	8,0	31	9,3	5	1,9	32	10,8	9	2,9	10	3,2
<i>Block</i>	149	40,1	29	6,9	27	8,3	11	3,5	12	3,6	25	9,6	16	5,4	21	6,8	21	6,7
<i>Bulliform</i>	8	2,2	52	12,3	-	-	5	1,6	7	2,1	12	4,6	5	1,7	14	4,5	13	4,2
<i>Elongate</i>	149	40,1	180	42,6	177	54,3	164	52,2	163	48,8	145	55,8	119	40,3	173	55,8	178	56,9
<i>Globular echinate</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1,0	2	0,6	-	-
<i>Globular psilate</i>	4	1,0	10	2,4	7	2,1	11	3,5	-	-	-	-	10	3,4	5	1,6	6	1,9
<i>Hair</i>	3	0,8	3	0,7	4	1,2	8	2,5	9	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hatshape</i>	-	-	4	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1,7	-	-	-	-
<i>Polilobate short cell</i>	2	0,5	-	-	-	-	-	-	3	0,9	2	0,8	2	0,7	-	-	-	-
<i>Rondel short cell</i>	15	4,0	43	10,2	32	9,8	54	17,2	82	24,6	34	13,1	20	6,8	12	3,9	-	-
<i>Saddle short cell</i>	23	6,2	53	12,5	39	12,0	11	3,5	22	6,6	34	13,1	74	25,1	52	16,8	80	25,6
<i>Tracheid</i>	-	-	-	-	-	-	2	0,6	-	-	-	-	2	0,7	4	1,3	2	0,6
<i>Trapeziform short cell</i>	2	0,5	25	5,9	7	2,1	23	7,3	5	1,5	3	1,2	7	2,4	18	5,8	3	1,0
<i>Trapeziforme bilobate echinate</i>	12	3,2	11	2,6	22	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total de células simples identificadas	372	100	423	100	326	100	314	100	334	100	260	100	295	100	310	100	313	100
Não Identificado	13	3,0	5	1,1	19	5,3	-	-	-	-	2	0,7	-	-	-	-	-	-
Não Identificável	41	9,6	20	4,4	11	3,0	-	-	4	1,1	11	4,0	12	3,9	10	3,1	11	3,3
Total de células contadas	426		448		356		314		338		273		307		320		324	

Morfotipo **não identificado** é todo aquele que não foi possível nomear; **Não identificável** é todo aquele que não foi possível identificar a forma devido a seu estado de conservação (quebrado, corroído, etc.)

Tabela 6: Abundância de fitólitos na assembleia da serapilheira e do solo (em frequência absoluta e relativa %) dos Pontos de controle (PC's).

Porf. (cm)	PC1						PC2						PC3					
	Serapilheira		0-10		10-20		Serapilheira		0-10		10-20		Serapilheira		0-10		10-20	
MORFOTIPO	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%	Num. Absol.	%
<i>Bilobate short cell</i>	10	3,1	13	4,1	7	1,9	12	4,2	16	4,7	16	4,6	5	1,7	45	14,1	25	7,5
<i>Block</i>	93	28,9	25	8,0	13	3,6	119	41,5	26	7,6	38	11,0	187	63,4	17	5,3	12	3,6
<i>Bulliform</i>	1	0,3	13	4,1	7	1,9	5	1,7	7	2,1	13	3,8	2	0,7	3	0,9	11	3,3
<i>Elongate</i>	171	53,1	174	4	231	63,5	93	32,4	215	63,0	163	47,1	58	19,7	179	56,1	198	59,3
<i>Globular echinate</i>	-	-	-	-	5	1,4	2	0,7	5	1,5	6	1,7	-	-	11	3,4	11	3,3
<i>Globular psilate</i>	17	5,3	17	5,4	39	10,7	2	0,7	26	7,6	21	6,1	13	4,4	8	2,5	3	0,9
<i>Polilobate short cell</i>	1	0,3	-	-	-	-	1	0,3	1	0,3	-	-	2	0,7	2	0,6	-	-
<i>Rondel short cell</i>	12	3,7	12	3,8	35	3,9	25	8,7	10	2,9	33	9,5	8	2,7	12	3,8	24	7,2
<i>Saddle short cell</i>	10	3,1	46	6	25	6,9	25	8,7	28	8,2	45	13,0	6	2,0	37	11,6	46	13,8
<i>Tracheid</i>	3	0,9	3	1,0	2	0,5	-	-	-	-	-	-	11	3,7	3	0,9	2	0,6
<i>Trapeziform short cell</i>	4	1,2	9	2,9	-	-	3	1,0	7	2,1	7	2,0	3	1,0	2	0,6	2	0,6
<i>Trapeziforme bilobate echinate</i>	-	-	2	0,6	-	-	-	-	-	-	4	1,2	-	-	-	-	-	-
Total de células simples identificadas	322		314		364		287		341		346		295		319		334	
Não Identificado	1	0,3	20	5,9	25	6,42	11	3,6	12	3,39	21	5,72	23	7,23	14	4,2	15	4,2
Total de células contadas	323		334		389		298		353		367		318		333		349	

Morfotipo **não identificado** é todo aquele que não foi possível nomear; **Não identificável** é todo aquele que não foi possível identificar devido a seu estado de conservação (quebrado, corroído etc.)

Em todas as outras amostras, verifica-se o registro predominante da família Poaceae, seguida por Eudicotiledoneae, independente de se considerar ou não o morfotipo *Elongate*, encontrado de forma abundante em todas as amostras. O predomínio de fitólitos de Eudicotiledoneae é observado nos 30 centímetros superficiais desse solo (Figura 13), corroborando os dados isotópicos, que apontaram para essa profundidade maior quantidade de plantas de padrão fotossintético C₃ (Item 5.2).

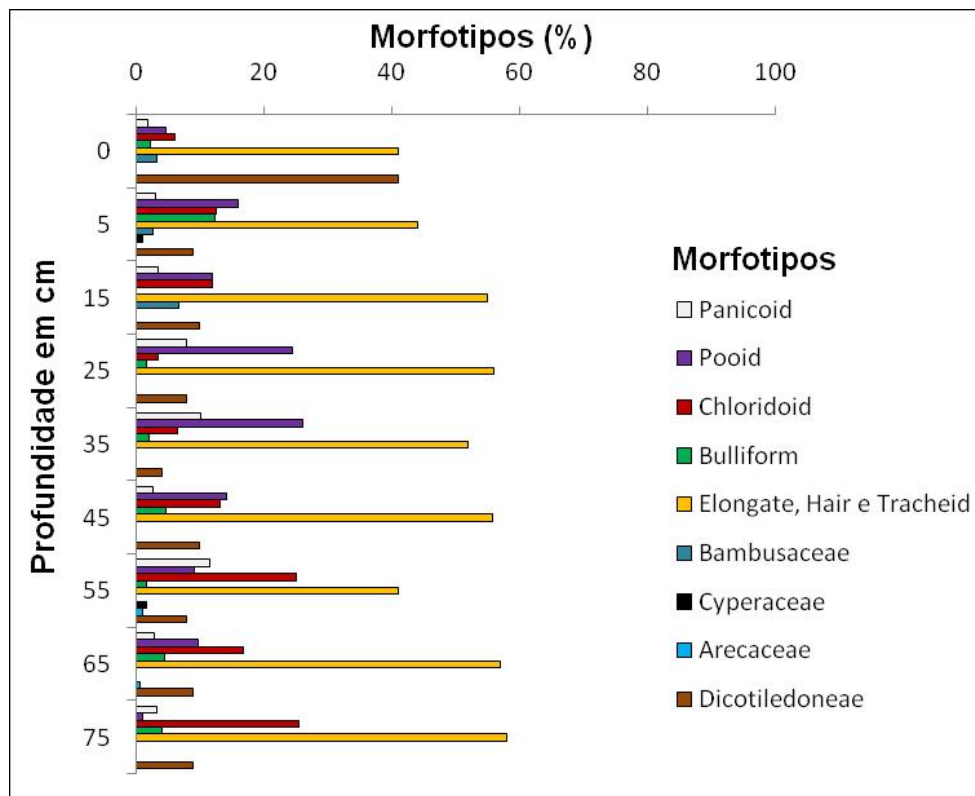


Figura 13: Distribuição dos fitólitos identificados organizados por grupo taxonômico.

O PC1 apresentou uma assembleia de fitólitos formada por 12 morfotipos identificados (Tabela 6). Destaca-se, ao longo de todo o perfil, a presença de morfotipos sem significado taxonômico, isto é, *Elongate*, *Tracheid* e *Bulliform*. O morfotipo *Tracheid* tem baixa participação na composição da assembleia fitolítica deste perfil, com média de 0,8% ($\pm 0,2$). O *Bulliform* apresentou a mais baixa porcentagem (0,3%) na serapilheira e nas amostras seguintes (0-10 cm e 10-20 cm) representou 4,1% e 1,9%, com média de 2% ($\pm 1,9$) da assembleia de fitólitos identificados. O *Elongate* é o morfotipo mais frequente ao longo do perfil, correspondendo, em média, a 57% ($\pm 5,4$) da assembleia.

Os morfotipos produzidos por Eudicotiledoneae, *Block* e *Globular psilate*, também se mostraram representativos, correspondendo, em média a 13% ($\pm 13,5$) e 7% ($\pm 3,1$), da assembleia de fitólitos, nessa ordem. Em seguida, têm-se os morfotipos diagnósticos da família Poaceae (gramíneas): o *Saddle (Chloridoid)* com 8% ($\pm 5,8$) e o *Rondel* e o *Trapeziform short cell*, da subfamília *Pooid*, cuja representação na assembleia fitolítica é, respectivamente, de 6% ($\pm 3,3$) e 1% ($\pm 1,4$), sendo a maior quantidade de *Rondel* encontrada na amostra 10-20 cm, momento em que corresponde a 10% da assembleia. O morfotipo *Trapeziform bilobate echinate (Bambusoid)* foi encontrado apenas na amostra 0-10 cm e representa 0,2% ($\pm 0,3$) da assembleia fitolítica.

O *Bilobate (Panicoid)* representa em média 3% ($\pm 1,1$) da assembleia fitolítica.

A Serapilheira, assim como no Perfil 1, é composta por apenas duas famílias: Poaceae (*Elongate*, *Bulliforme Tracheid* – fitólitos produzidos por todas as Poaceas), que representa 60% e abrange as subfamílias *Chloridoid* (8%), *Pooid* (7%), *Panicoid* (3%) e *Bambusoid* (0,2%); e Eudicotiledoneae que corresponde a 21% da assembleia. Os morfotipos não identificados e não identificáveis representam em média 4,2%.

O PC2 apresentou uma assembleia de fitólitos formada por 11 morfotipos identificados (Tabela 6) e dois morfotipos sem significado taxonômico, isto é, *Elongate* e *Bulliform*, cujas porcentagens médias encontradas para este PC foram, respectivamente, 47,5% ($\pm 15,3$) e 2,5% ($\pm 1,1$). O *Bulliform* apresentou sua menor contribuição para a assembleia fitolítica na serapilheira (1,7%), um pequeno aumento foi verificado para as amostras de solo (2,7% e 3,8%, respectivamente). O *Elongate* também teve a menor porcentagem na serapilheira (32,4%) e a maior na amostra entre 0-10 cm de solo (63%) e, assim como nos outros perfis, é o morfotipo mais frequente ao longo do perfil.

Os morfotipos *Block* e *Globular psilate* (Eudicotiledoneae) correspondem, respectivamente, em média, a 20% ($\pm 18,6$) e 4,8% ($\pm 3,6$), da assembleia de fitólitos. Em seguida, têm-se os morfotipos de Poaceae, *Saddle (Chloridoid)* com 10% ($\pm 2,6$) e *Rondel* e *Trapeziform short cell*, que compõem a subfamília *Pooid*, cuja representação na assembleia fitolítica é, respectivamente, de 7,1% ($\pm 3,6$) e 1,7% ($\pm 0,6$). O *Bilobate (Panicoid)* corresponde, em média a 4,5% ($\pm 0,3$) da assembleia fitolítica e os fitólitos *Trapeziform bilobate echinate (Bambusaceae)* correspondem, em média, a 0,4% ($\pm 0,6$).

Nesse ponto de controle também foram encontrados fitólitos *Globular echinate*, provenientes da família *Arecaceae*, com contribuição média de 1,3% ($\pm 0,5$) do total de fitólitos da assembleia fitolítica. Na serapilheira foi encontrada a menor porcentagem (0,7%) de *Globular echinate* e um pequeno aumento foi verificado para as amostras de solo (1,5% e

1,7% nas amostras 0-10 cm e 10-20 cm, nessa ordem). A Serapilheira deste PC é composta por três famílias: Poaceae (*Elongate*, *Bulliforme Tracheid* – fitólitos produzidos por todas as Poaceas), que representa 50% e as subfamílias *Chloridoid* (10%), *Pooid* (9%), *Panicoid* (5%) e *Bambusoid* (0,4%); Eudicotiledoneae, que corresponde a 25% da assembleia; e Arecaceae que corresponde a 1,3%. Os morfotipos não identificados e não identificáveis representam, em média, 12,6% do total de fitólitos encontrados.

O PC3 apresentou assembleia de fitólitos formada por 11 morfotipos identificados (Tabela 6), destes, três morfotipos sem significado taxonômico: *Elongate*, *Tracheid* e *Bulliform*. O *Elongate* representa em média 45% (± 22) da assembleia de fitólitos. Mesmo com a baixa porcentagem observada para a serapilheira (19,7%), ele ainda é o morfotipo mais frequente ao longo do perfil, uma vez que um aumento significativo deste morfotipo foi observado para as amostras de solo, atingindo 59,3% na amostra 10-20 cm. Os morfotipos *Tracheid* e *Bulliform* apresentaram porcentagens médias muito semelhantes, de 1,8% ($\pm 1,7$) e 1,6% ($\pm 1,4$), respectivamente.

Os morfotipos *Block* e *Globular psilate*, ambos de Eudicotiledoneae, correspondem, respectivamente e em média, a 24,1% (± 34) e 2,6% ($\pm 1,8$), da assembleia de fitólitos. Os morfotipos de Poaceae apresentam-se em seguida: *Saddle* (*Chloridoid*) com 9,1% ($\pm 6,2$) e *Rondel* e *Trapeziform short cell* (*Pooid*), com representação de respectivamente, 4,6% ($\pm 2,3$) e 0,7% ($\pm 0,2$). O *Bilobate* (*Panicoid*) representa em média 7,8% ($\pm 6,2$) da assembleia fitolítica. O *Globular echinate* (Arecaceae) representa, em média, 2,2% ($\pm 1,9$) do total de fitólitos da assembleia fitolítica. Ausente na serapilheira do PC3, as porcentagens encontradas para as amostras de solo foram muito próximas (3,4% e 3,3% - 0-10 cm e 10-20 cm, nessa ordem). A serapilheira é composta por três famílias: Poaceae (*Elongate*, *Bulliforme Tracheid* – fitólitos produzidos por todas as Poaceae) que representa 48% e ainda as subfamílias *Chloridoid* (9%), *Pooid* (5%), *Panicoid* (8%); Eudicotiledoneae que corresponde a 26,7% da assembleia; e Arecaceae que corresponde a 2,2%. Os morfotipos não identificados representam em média 5,2% do total de fitólitos encontrados.

5.3.2. ANÁLISE MULTIVARIADA

5.3.2.1. Análise de Componentes Principais – PCA

Perfil 1- CAMBISSOLO HÚMICO

A análise estatística de componentes principais – PCA e de agrupamento hierárquico – Cluster - foi realizada com os dados de frequência relativa (%) dos morfotipos identificados nas amostras de solo do Perfil 1(CAMBISSOLO HÚMICO) e dos PC's.

Na análise de componentes principais do Perfil 1 (Figura 14), as quatro primeiras componentes respondem por 79,3% da variância entre as amostras do perfil de CAMBISSOLO. A PCA-Eixo 1 representa 28% da variância total entre as amostras, a PCA-Eixo 2 responde por 20,4%, a PCA-Eixo 3 por 18,3% e a PCA-Eixo 4 é responsável por apenas 12,6%.

O Eixo 1 (umidade) é definido, no campo positivo, pelos morfotipo *Tracheid* e *Saddle* (Poaceae), *Globular echinte* (Arecaceae), *Globular psilate* (Eudicotiledonea) e o *Hat shape* (Cyperaceae) e, no campo negativo, pelos morfotipos *Block* (Eudicotideloneae), *Rondel*, e *Hair* (Poaceae) e *Trapeziform bilobate echinate* (Bambuseaceae) (Figura 14). No Eixo 2 (temperatura) o campo positivo é definido pelas variáveis *Hair*, *Rondel*, *Bilobate* e *Trapeziforme shorte cell* (Poaceae) e o campo negativo pelo *Block* (Eudicotiledoneae), *Saddle* e *Bulliform* (Poaceae) e o *Trapeziform bilobate echinate* (Poaceae).

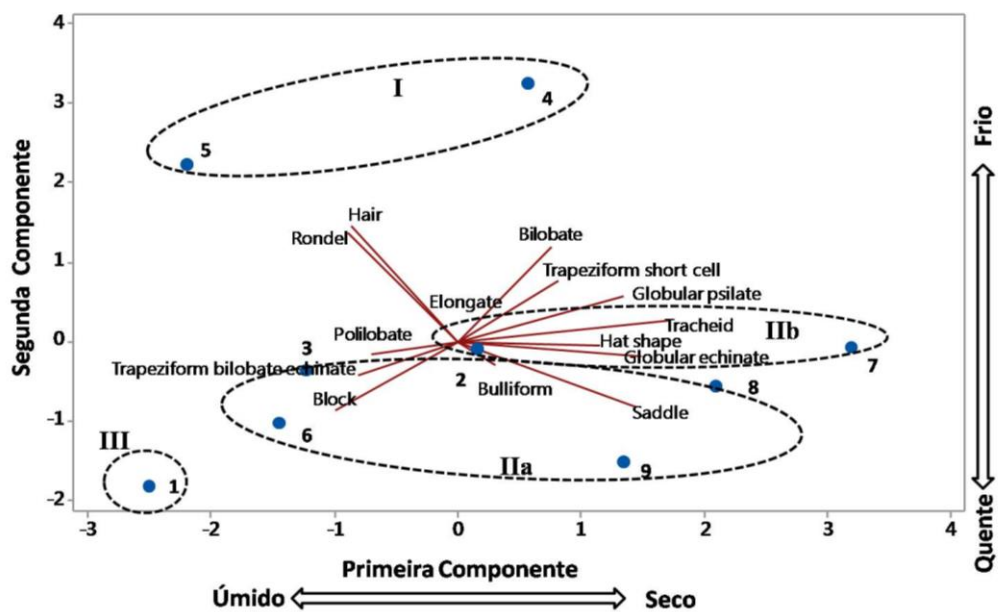
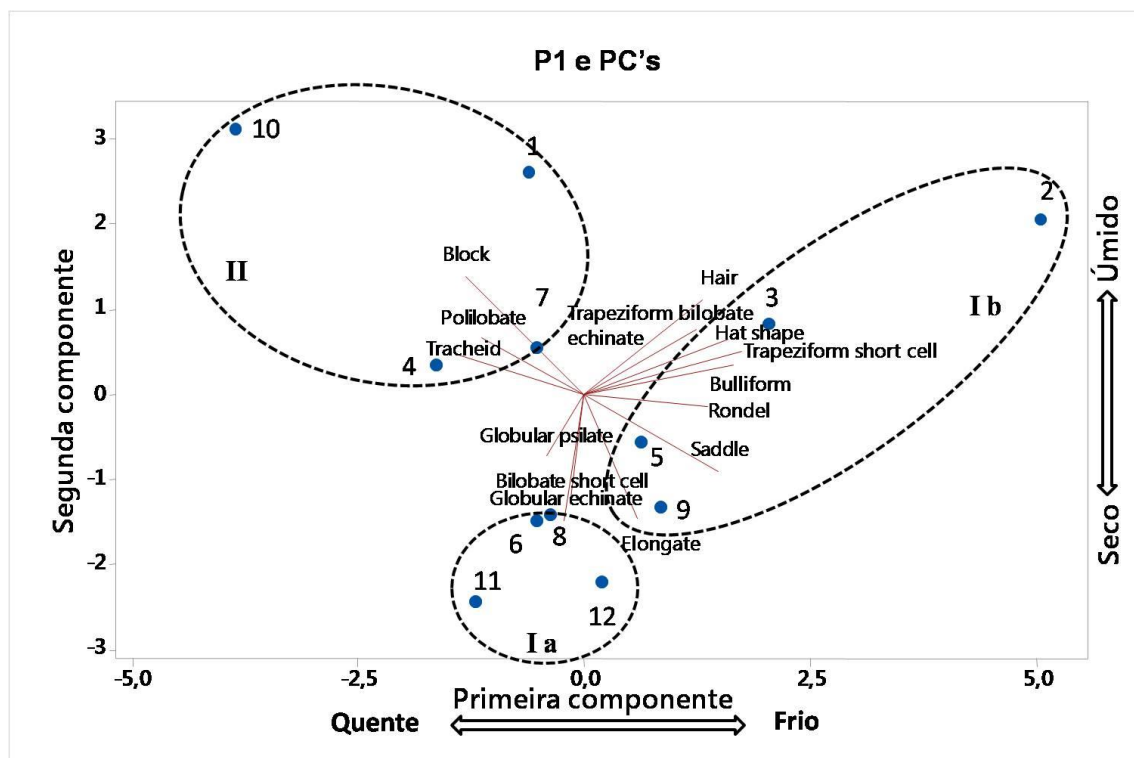


Figura 14: Análise de Componentes Principais (PCA) da assembleia de fitólitos (em porcentagem) do perfil de CAMBISSOLO HÚMICO.

Pontos de controle

Visando definir a assinatura fitolítica da FOM, foi realizada a PCA com os dados de serapilheira e nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm do P1 e de três pontos de controle (PC's). De acordo com os resultados dessa PCA (Figura 15), as quatro primeiras componentes respondem por 82,7% da variância total entre as amostras. A PCA - Eixo 1 representa 32,8% da variância, a PCA- Eixo 2 responde por 25,3% , a PCA - Eixo 3 por 13,3% e a PCA - Eixo 4 é responsável por apenas 11,3%.

O Eixo 1 (temperatura) é definido, no campo positivo, pelos morfotipos *Trapeziform short cell*, *Bulliform*, *Saddle*, *Rondel* (Poacea) e *Hat shape* (Cyperaceae) e, no campo negativo, pelos morfotipos *Polylobate* e *Tracheid* (Poaceae), *Block* e *Globular psilate* (Eudicotiledoneae). No Eixo 2 (umidade), o campo positivo é definido pelas variáveis *Block* (Eudicotiledoneae), *Hair* e *Polylobate* (Poaceae) e *Trapeziform bilobate echinate* (Poaceae) e a porção negativa é definida pelos morfotipos *Globular echinate* (Arecaceae), *Elongate*, *Bilobate* e *Saddle* (Poaceae).



Figur

a 15: Análise de Componentes Principais (PCA) da assembleia de fitólitos (em porcentagem) da serapilheira e das amostras superficiais do perfil de CAMBISSOLO e dos pontos de controle.

5.3.2.2 Análise de Agrupamento Hierárquico – Cluster

Perfil 1 – CAMBISSOLOHÚMICO

Os resultados da análise de agrupamento hierárquico permitiram identificar a formação de três grupos, de acordo com a similiaridade dos dados fitolíticos do Perfil 1 (Figura 16). O grupo III é formado por apenas uma amostra, a serapilheira, e representa a máxima diversidade de morfotipos desse perfil, corresponde a produção e preservação atual de fitólitos pela FOM, e na PCA encontra-se no quadrante que indica plantas mais adaptadas a condições ambientais mais quente e úmida. O grupo IIb reúne as amostra 2 (0-10cm) e 7 (50-60cm) e encontra-se no quadrante de ambiente seco e praticamente no limite entre os quadrantes quente e frio. O Grupo IIa é formado pelas amostra 3 (10-20 cm), 6 (40-50cm), 8 (60-70cm) e 9 (70-80cm) concentra-se no quadrante de ambiente quente e apresenta variações quanto a umidade (Figura 15); e o grupo I agrupa as amostras 4 (20-30 cm) e 5 (30-40 cm) situadas no quadrante frio e também apresenta variações de umidade.

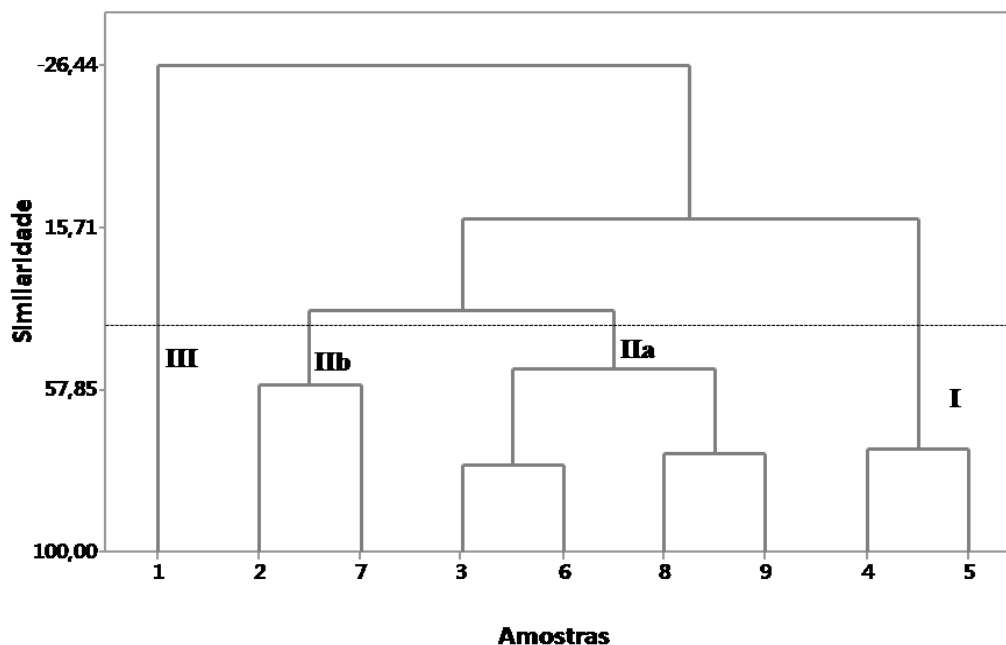


Figura 16: Análise de Agrupamento Hierárquico através do Método Ward da assembleia de fitólitos (em porcentagem) do perfil de CAMBISSOLO HÚMICO.

Pontos de controle

No conjunto de dados das amostras de serapilheira e das amostras superficiais do Perfil1 e dos pontos de controle, observou-se a formação de dois grupos, resultantes da análise de agrupamentos (Figura 17). O grupo II agrupa todas as amostras de serapilheira e se concentra no quadrante que representa condições de clima quente e úmido da PCA, seguindo a mesma tendência observada no Perfil1. O grupo I subdividido em **a** e **b**, reúne todas as amostras de solo, não havendo separações entre as camadas amostradas. Assim, o grupo Ib reúne as amostra 2 (0-10 cm Perfil 1), 3 (10-20cm Perfil 1), 5 (0-10 PC1) e 9 (10-20 cm PC2) e encontra-se no quadrante frio, com variação de umidade. O Grupo Ia é formado pelas amostras 6 (10-20 cm PC1), 8 (0-10cm PC2), 11 (0-10cm PC3) e 12 (10-20cm PC3), e se concentra no quadrante seco, com variações quanto a temperatura.

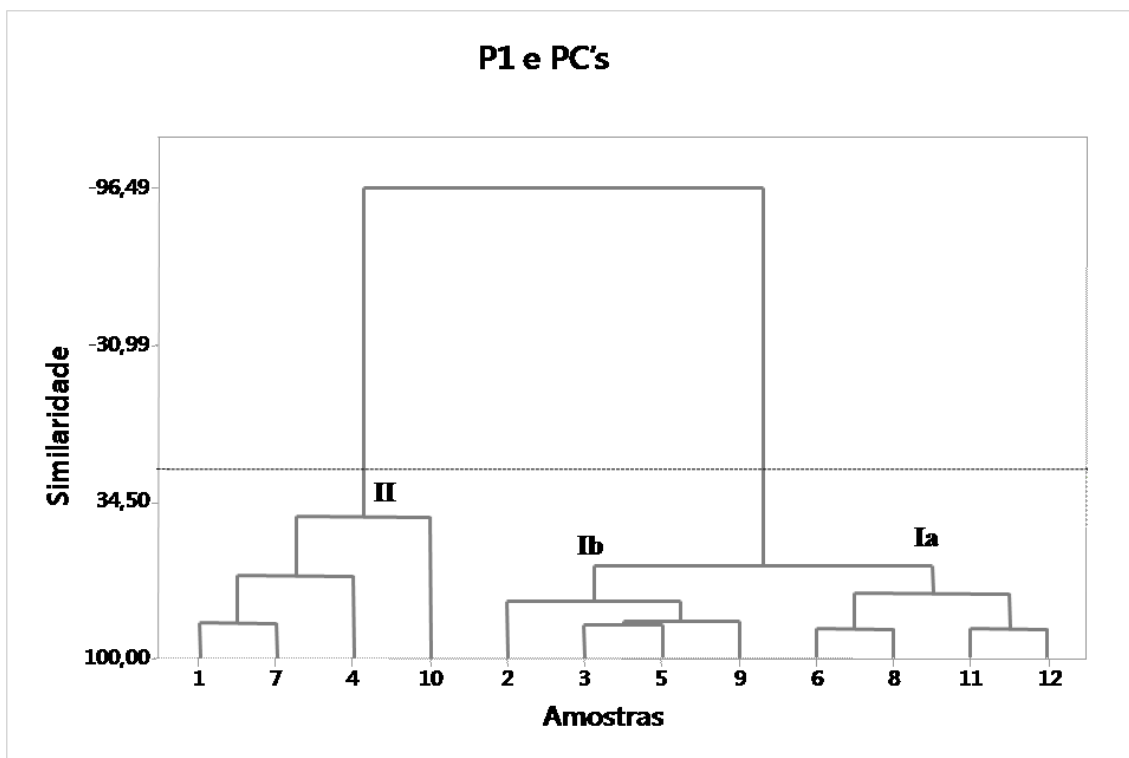


Figura 17: Análise de Agrupamento Hierárquico através do Método Ward da assembleia de fitólitos (em porcentagem) da serapilheira e das amostras superficiais do perfil de CAMBISSOLO HÚMICO e dos pontos de controle (PC's).

5.3.3. Índices fitolíticos

Foram calculados os Índices Iph, IC e D/P para todas as amostras do perfil 1 e para os PC's, cujos resultados são apresentados na Tabela 7.

O índice Iph no Perfil 1 apresentou valores variando entre 30,6% (20-30 cm) e 88,9% (70-80 cm). Entre a serapilheira até a amostra 20-30 cm, observa-se uma diminuição linear de 82,1% à 30,6% e, a partir de 40 cm, variam entre 88,9 % e 69,8%. Tendência inversa foi observada para o índice IC, que variou entre 20,3% (50-60 cm) e 68,1% (20-30 cm). Os valores mais baixos encontram-se na serapilheira e a partir da amostra 50-60 cm.

Os valores apresentados no índice D/P variam de 0 à 0,12. Na serapilheira o valor obtido foi 0,8 e na amostra seguinte observa-se uma queda para 0,6. Na amostra 20-30 cm ocorre o maior valor, 0,12, e nas duas amostras seguintes os valores são nulos. Nas amostras da base do perfil observa-se uma tendência decrescente nos valores D/P.

Tabela 7: Índices fitolíticos

Profundidade (cm)	Iph %	Ic %	D/P
Perfil 1- CAMBISSOLO HÚMICO			
Serapilheira	82,1	37,8	0,08
0-10	80,3	50,7	0,06
10-20	78	43,8	0,09
20-30	30,6	68,1	0,12
30-40	41,5	62,1	0
40-50	87,2	48,7	0
50-60	69,8	20,3	0,08
60-70	85,2	33	0,06
70-80	88,9	3,2	0,06
PC1			
Serapilheira	50	40	0,5
0-10	78,9	20,8	0,19
10-20	77,8	52,6	0,52
PC2			
Serapilheira	69,2	40,9	0,04
0-10	61,5	18,8	0,44
10-20	72,2	37,9	0,19
PC3			
Serapilheira	50	42,9	0,44
0-10	46,2	13,3	0,9

10-20	66,7	25	0,3
-------	------	----	-----

Os índices fitolíticos calculados para os PC's, de modo geral, repetem as mesmas tendência observadas no perfil de CAMBISSOLO. Exceções foram observadas na amostra de serapilheira, que apresentou os menores valores de I_{ph} no PC1 e no índice D/P no PC2, e valores mais elevados de IC nos três PC's.

Numericamente, os valores de I_{ph} são maiores no CAMBISSOLO, de IC são maiores no PC2 e PC3 e menores no CAMBISSOLO HÚMICO e os valores de D/P são menores no PC1 e PC3 (Tabela 7).

5.4. ZONAS FITOLÍTICAS

A análise de Agrupamento Hierárquico e a análise de Componentes Principais – PCA aplicadas aos dados da assembleia de fitólitos das amostras do perfil de CAMBISSOLO e os dados isotópicos indicaram a ocorrência de três fases paleoclimáticas.

As amostras da serapilheira e superficiais do solo (0-20 cm) representam o sinal fitolítico e isotópico dessa vegetação de floresta e das condições climáticas modernas, isto é, do clima temperado mesotérmico úmido, com verão ameno (Cfb), temperatura média anual de 16 °C e precipitação média anual de 2.073 mm. As demais amostras permitiram identificar duas fases paleoclimáticas bem definidas e uma zona de transição, a saber:

Zona Fitolítica moderna (840 anos Cal AP - atual): Corresponde a serapilheira e o horizonte A (0-15 cm) e representa o sinal fitolítico e isotópico da FOM neste local. O valor isotópico $\delta^{13}\text{C}$ de -23,61‰ indica mistura de plantas de padrão fotossintético C₃ e C₄, com predomínio de plantas C₃ e assembleia fitolítica formada por Eudicotiledonea (41% na serapilheira e menos de 10% no horizonte A) e gramíneas C₄ das subfamílias *Panicoid* (2-3%), *Chloridoid* (6-13%) e maior contribuição de gramínea C₃ da subfamília *Pooid* (5-16%). Os morfotipos sem significado taxonômico representam entre 43 e 56% da assembleia dessa fase. Destaca-se a presença de morfotipos de *Bambusoid*, muito comum na área.

Zona Fitolítica I (6.235-6.215 anos Cal. AP.à ca. 3.837 Cal. anos AP – estimada por interpolação entre as datas de ¹⁴C): corresponde aos horizonte Bi e BA (80-40 cm) e apresenta valores isotópicos que marcam o predomínio de plantas com ciclo fotossintético C₄ (-17,41‰ – 16,23‰). A assembleia fitolítica reforça o predomínio de gramíneas C₄, cuja soma das subfamílias *Panicoid* (C₄) e *Chloridoid* (C₄/C₃) variam entre 16 e 37% da assembleia. Os

índices variaram Iph, IC e D/P variaram, respectivamente, entre 69 - 88,9%, 3,2 - 48,7% e 0 - 0,08. Nesta ordem, estes índices indicam condições climáticas mais secas, mais quentes que a atual e uma vegetação aberta, com pouquíssimos elementos arbóreos (marcado pelo morfotipo *Globular psilate*) e poucos arbustivos (morfotipo *Block*) (Tabela 6). Há um indicativo de *Arecaceae*, cujo morfotipo diagnóstico, o *Globular echinate*, representa apenas 1% da assembleia.

Zona de transição (3.837 anos Cal. AP – 2.638 anos Cal AP – idades estimadas): corresponde ao topo do horizonte BA (40 - 30 cm). Ambos os proxies utilizados indicaram a presença de uma vegetação mista, com predomínio de gramíneas C₄ cujo sinal isotópico é de -16,25‰. A assembleia fitolítica é marcada pelo predomínio de gramíneas, com destaque para a alta frequência de fitólitos *Rondel* (13,1% 30-40 cm e 24,6% 20-30 cm), marcador da subfamília *Pooid* (C₃– subfamília com cerca de 25% do total das amostras). Observa-se que nesta fase tem-se a menor diversidade de morfotipos de todo o perfil (Tabela6). Os índices indicam condição de clima mais úmido (Iph 41,5%) e mais frio (IC 62,1) que a Zona I e uma vegetação ainda mais aberta (D/P nulo) que todas as zonas.

Zona Fitolítica II (2.638 anos Cal AP.- estimada à 840 anos Cal. AP.): corresponde aos AB (15-30 cm). Os valores $\delta^{13}\text{C}$ demonstram empobrecimento isotópico da base para o topo dessa fase, variando de -18,29‰ a -23,61‰. A assembleia fitolítica é marcada pela alta frequência de *Pooid* (25%), seguindo a tendência observada na fase de transição, baixa frequência de *Bulliform* e aumento de morfotipos de Eudicotiledoneas, sobretudo os *Gloubar psilate*, típicos de espécies de hábito arbóreo. Os índices indicam condições de clima mais parecidas com o atual, porém com valores para o índice de D/P (0,9-0,12), indicando uma cobertura arbórea mais densa que a atual.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. ATRIBUTOS MACROMORFOLÓGICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

Com base nos resultados, o solo estudado foi classificado como CAMBISSOLO HÚMICO. Trata-se de um perfil de solo dentro dos parâmetros estabelecidos pela Embrapa (2013) para que seja classificado como CAMBISSOLO, isto é, um solo constituído por material mineral, que apresenta um horizonte B incipiente (Bi) subjacente ao horizonte superficial, compreendendo a sequência de horizontes A, AB, BA, Bi e CR. O incremento de argila, de 439.5 g.kg⁻¹ no horizonte A, para 5.44 g.kg⁻¹ no horizonte Bi observado no Perfil 1 também é considerado comum na classe dos CAMBISSOLOS.

O horizonte Bi não satisfaz o limite mínimo de espessura para se classificar este solo como um LATOSSOLO, embora atributos como os teores de óxidos, estrutura e relação silte/argila indiquem que este solo se apresenta bem evoluído mineralogicamente, semelhante aos LATOSSOLOS da região. A relação silte/argila é utilizada para indicar alto grau de intemperismo de LATOSSOLOS e pode ser usada para contribuir na distinção entre horizonte B latossólico e B incipiente, bem como para identificar solos originados de rochas cristalinas (SANTOS *et al.*, 2013). Neste perfil, os valores encontrados variaram entre 0,7 e 1,1 nos horizontes A e Bi, e 1,4 no horizonte CR, indicando moderado grau de intemperismo e uma tendência de latossolização para este solo.

O menor valor de densidade do solo observado no horizonte A (Tabela 1) pode ser explicado como efeito da matéria orgânica do solo e da atuação da flora e fauna na formação e preservação de estrutura grumosa, mais porosa (PRIMAVESI, 2002). No horizonte Bi, a estrutura pouco desenvolvida exprime menor grau de estruturação e, portanto maior densidade de solo.

A mineralogia para este solo indicou o quartzo como principal constituinte da fração areia, com ocorrência de cristobalita, tridimita, ilmenita, anatásio, rutilo e magnetita (Anexo 1). À exceção de tridimita, a fração silte apresenta composição mineralógica semelhante à da fração areia. A presença de cristobalita e tridimita indica aporte de silício na solução do solo, favorecendo a estabilidade e a neoformação mineral (PEDRON, 2007). Esses resultados indicam que esse solo se desenvolveu a partir do intemperismo de material máfico (IBGE, 1986; CORRÊA, 2003; MELO *et al.*, 2004). A identificação de fitólitos em quantidade considerável em todos os horizontes também indica a ocorrência de sílica amorfa hidratada,

não identificada nos difratogramas. Também se verificou a presença de magnetita, que confirma os testes de atração magnética com imã de mão realizado em campo.

A mineralogia primária é semelhante entre os horizontes, indicando que eles são formados a partir da mesma matriz mineralógica, isto significa dizer que este perfil apresenta desenvolvimento autóctone. A morfologia e os dados químicos pseudototais dos horizontes reforçam essa assertiva.

O material de origem é rico em titânio, o que explica os consideráveis valores pseudototais desse elemento, obtidos pelo ataque sulfúrico (Apêndice 3). As diferenças quantitativas desse elemento entre os horizontes são muito pequenas, apontando para uma uniformidade no material originário dos horizontes estudados.

6.2. INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL DA TRAJETÓRIA DA VEGETAÇÃO: DO HOLOCENO MÉDIO AOS DIAS ATUAIS

Na interpretação dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS, assumimos que as variações isotópicas menores que 4‰ estão associadas ao fracionamento isotópico natural que ocorre durante a decomposição da matéria orgânica e às variações na composição isotópica do carbono do CO_2 atmosférico (NADELHOFFER e FRY, 1988; BOUTTON, 1996). Somente aquelas maiores que 4‰ são associadas às mudanças de comunidades de plantas (DESJARDINS *et al.*, 1996; SAIA *et al.*, 2008). Assim, de acordo com os dados isotópicos e fitolíticos (Figura 12 e 13), é possível inferir que houve uma mudança de vegetação ao longo do Holoceno, durante a formação do CAMBISSOLO estudado, haja vista que existe uma diferença superior a 6‰ nos dados isotópicos e diferenças significativas nas assembleias fitolíticas entre as amostras mais profundas (80-40 cm) e as superficiais (30-10 cm).

A vegetação teria evoluído de uma formação mais aberta, provavelmente associada a um campo, desde o Holoceno Médio (6.235-6.215 anos Cal. AP), para uma vegetação mais florestada no Holoceno Superior (de 840 e 835 anos cal. A.P), e se mantém até os dias atuais (Figura 12).

Estudos realizados no Sul do Brasil têm atestado que a mudança na composição paleoflorística iniciada no Holoceno médio, e acentuada após 1.000 anos A.P., refletem variações para um clima mais úmido do que aquele do último máximo glacial (UMG), com alta pluviosidade e pequeno ou inexistente período de seca para essa região (BEHLING, 2002).

No perfil estudado, a zona de transição é entre uma fase de clima seco para um clima mais parecido com o atual – úmido e com temperatura média em torno de 16 °C – e com vegetação arbórea mais densa, durante no final do Holoceno Médio. Essa fase de vegetação mais aberta parece refletir uma fase mais seca, em que a vegetação teria sido formada por campos, com pouquíssimos elementos arbóreos/arbustivos (Figura 12 e 13).

Seguindo as zonas fitolíticas identificadas no item 5.4, a trajetória histórica da vegetação na área de estudo indica que, na fase ambiental mais antiga registrada no perfil, o período do Holeceno Médio (entre 6.235 – 6.215 anos Cal A.P. até 3.837 anos A.P – idade estimada), houve um predomínio de gramíneas C₄ em uma vegetação aberta, com poucos elementos arbóreos, marcados pelo morfotipo *Globular psilate* e arbustivos (morfotipo *Block*) (Tabela 6), condição esta reforçada pelo índice D/P (Tabela 8). Conforme os índices fitolíticos Iph e IC, nesta fase a condição climática era um pouco mais seca que a atual e mais quente. A presença de *Arecaceae*, ainda que em quantidade muito baixa, corrobora a interpretação de clima quente, pois as palmeiras são sensíveis às temperaturas baixas. De acordo com Sodré (2005) a grande maioria das espécies de palmeiras ocupa regiões consideradas úmidas, sendo raras as de regiões secas e frias. Em geral, são plantas de climas tropicais ocupando áreas interioranas, costeiras, inclusive grandes altitudes.

Behling (2002) afirma que, desde o início do Holoceno a até aproximadamente 6.000 – 5.000 anos A.P. a área ocupada pelos campos no Sul era bem maior que a atual, em resposta ao clima, que o autor concorda ter sido, nessa época, mais seco do que durante o Holoceno Superior. Condições climáticas mais secas, assim como uma vegetação mais aberta, também foram identificadas por Oliveira *et al.* (2006), por volta 6.600 anos A.P., em Campo Alegre (SC), e esse mesmo padrão de vegetação foi verificada por Calegari (2008) em Xanxerê (SC), entre 7.000 anos A.P. e 2.500 anos A.P., momento em que a vegetação era composta predominantemente por plantas C₄ nessas áreas.

No contexto regional da ESEC Mata Preta, valores isotópicos semelhantes ao do CAMBISSOLO estudado foram encontrados também por Calegari (2008), em solos sob Floresta de Araucária, em Xanxerê (SC) e em Guarapuava (PR), e foram interpretados como vegetação de campo no Holoceno Médio. Também Paisani *et al.* (2014), estudando sequências estratigráficas (HS1) em Palmas (PR), encontraram valores de -16,8‰ e -17,4‰ e interpretaram-nas como registro de vegetação de campo.

Ao final dessa zona fitolítica, existem registros de que indivíduos de *Araucária angustifolia* começaram a compor as Matas de Galeria em Campo Alegre (SC) (OLIVEIRA *et al.*, 2006) por volta de 4.320 anos A.P., e aproximadamente 4.210 anos A.P. alcançaram seu

auge no Sudoeste do Paraná, indicando condições climáticas mais úmidas e frias (BERTOLDO *et al.*, 2014; CALEGARI, 2008) do que no início do Holoceno Médio, sugerindo término dessa fase e início de uma zona de transição.

No Holoceno Superior (3.837 anos Cal. A.P. e 2.638 anos Cal A.P. - idades estimadas), uma zona que parece marcar um período de transição foi identificada, marcando a máxima expressão da vegetação aberta, com sinal fitolítico e isotópico assinalando o predomínio de plantas C₄. A assembleia fitolítica parece ser mais sensível à presença de elementos arbustivos, mas assinala a predominância das subfamílias de Poaceae, com forte contribuição de fitólitos de gramíneas *Pooid* (C₃) e menor contribuição de *Chloridoid* (C₄). O sinal isotópico de -16,25‰ aponta para uma vegetação aberta, também confirmada pelo índice D/P (valor nulo). Os índices fitolíticos Iph e IC se referem a uma condição de clima mais úmido e mais frio que no Holoceno Inferior/Médio. O aumento de gramíneas C₃ corrobora o aumento de umidade e diminuição de temperatura. A presença dos *blocks* (Eudicotiledoneae arbustivo) indica que os campos sujos, que por definição são campos compostos por gramíneas, herbáceas baixas e arbustos (BOLDRINI, *et al.*, 2009), estavam presentes na área. Esta fase mais úmida neste período também foi marcada em outras áreas da região sul (BEHLING, 1997; 2002) e em outras partes do país (JARENKOW e BUDKE, 2009). A partir de então, observa-se uma arborização em detrimento dos campos na região sul.

No Holoceno Superior (período entre 2.638 anos Cal AP.- estimada à 840 anos Cal. AP), a assembleia fitolítica apresenta valores mais parecidos entre *Pooid*, *Chloridoid* e Eudicotiledoneae, indicando uma maior participação das espécies arbóreas e arbustivas, haja visto que as monocotiledôneas produzem cerca de 20% mais de fitólitos do que as Eudicotiledoneas. Essa interpretação é corroborada pelo empobrecimento isotópico nas amostras dessa zona. Ambos os *proxies* apontam para uma vegetação mais florestada do que nas fases anteriores, e o valor alto de Iph (78%) ressalta que, mesmo com mais plantas C₃, a vegetação ainda era mista, o que significa dizer que nesse momento a área ainda tinha contribuição de gramíneas C₄, a exemplo do observado em várias áreas da ESEC. O índice fitolítico para o clima aponta para uma condição mais quente que a fase de transição (IC 43,8), sendo mais parecido com o clima atual.

Estudos anteriores confirmam essa interpretação e indicam que esse período marca uma forte expansão da FOM com *Araucária* em detrimento do campo, associada a um período bastante úmido (BEHLING, 1995; 2002; CALEGARI, 2008; BAUERMAN e BEHLING,

2009; JARENKOW e BUDQUE 2009; BERTOLDO *et al.*, 2014), com curta estação seca (BEHLING, 1997).

Nos últimos 840 anos Cal A.P., assembleia fitolítica marca o predomínio de Eudicotiledonea, seguido por gramínea C₃ (subfamília *Pooid*) e a baixa frequência de gramíneas C₄ (*Panicoid* e *Chloridoid*), atestando a formação de uma vegetação predominantemente florestada. Verifica-se a presença de *Bambusoid* na área, uma subfamília de plantas que não faz parte do rol de plantas nativas da FOM (BEHLING, 1995; BEHLING, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2002; SEGER *et al.*, 2005; SONEGO, BACKES e SOUZA 2007; RÍOS, GALVÃO, CURCIO, 2008; JARENKOW e BUDKE, 2009; PROCHNOW, 2009) e que pode ter sido incorporada à área da ESEC Mata Preta pela ação humana. O Iph continua apresentando valor alto, reforçando a condição de vegetação mista, com contribuição de plantas C₄. O IC baixo aponta para as condições climáticas muito parecidas com aquelas do início da fase paleoclimática I (Holoceno Médio). O índice D/P apresenta valores muito próximos de zero, sugerindo que a área estaria com pouca cobertura arbórea, fato não constatado no local. Esse descompasso do índice D/P com a realidade pode ser explicado pelo fato de que o morfotipo *Globular* (*psilate* e *rugose*) não foi encontrado em grandes quantidades nas amostras correspondentes à esta fase e à anterior. Vale ressaltar que nem todas as Eudicotiledoneae lenhosas produzem o morfotipo *Globular* (MERCADER *et al.*, 2009) conforme comprovado por Raitz (2012) em um fragmento de FOM no sudoeste do Paraná,. Em geral os morfotipos produzidos por Eudicotiledoneae são mais propensos à dissolução devido a seu tamanho (baixa superfície específica) e forma (WILDING *et al.*, 1977; EPSTEIN 2001; MA *et al.*, 2001). Esse morfotipo também diminui em quantidade conforme há um aumento da altitude e, por consequência, decréscimo da temperatura (BARBONI *et al.*, 2007). A baixa produção de globular pelas espécies arbóreas da FOM foi constatada na coleção de referência organizada por Raitz (2012). Assim, como detectado em outras partes do Brasil (CALEGARI *et al* 2013; COE *et al*, 2013), os valores colocados na literatura como limites para identificar floresta e campo por esse índice não se aplicam às nossas condições. Entretanto, indicam tendência que permite interpretar que houve um aumento na cobertura arbórea.

O aumento na cobertura arbórea também foi marcado pelo valor isotópico, sugerindo vegetação com maior quantidade de elementos arbóreos e arbustivos do que nas fases anteriores. Valores isotópicos semelhantes ao encontrado na fase ambiental moderna foram constatados também por Calegari (2008), em Xanxerê (SC) e em Guarapuava (PR), e foram interpretados como sendo representativos da atual Floresta de Araucária. Em Palmas (PR),

Paisani *et al.* (2014) encontraram valores de -24,6‰, indicando a presença de uma vegetação mais florestada no Holoceno Superior (PAISANI *et al.*, 2013).

De acordo com a literatura, nesse mesmo período, em outras partes da Região Sul, a vegetação de campos já havia sido substituída pela FOM, em resposta ao clima mais úmido (BEHLING, 1995; 2002; CALEGARI, 2008; BAUERMANN e BEHLING, 2009; JARENKOW e BUDKE 2009; BERTOLDO *et al.*, 2014), e se mantém até a atualidade. Esta é a vegetação predominante na área de estudo, mesmo que em alguns lugares as condições climáticas podem ter voltado a ser mais secas (Norte do Paraná – MEDEANIK e STEVAUX 2008) ou então onde houve retração da FOM com Araucária (Pato Branco – BERTOLDO, 2010).

Assim, em síntese, é possível afirmar que o conjunto de dados obtidos neste trabalho indica que houve uma mudança de vegetação no Holoceno Médio, em consonância com outros trabalhos realizados na região (CALEGARI, 2008; PAISANI *et al.*, 2013; 2014; BERTOLDO *et al.*, 2014) que também assinalaram trocas de vegetação para a região da Superfície incompletamente aplainada II (PAISANI *et al.*, 2008), seções estratigráficas que preservam paleossolos como registros de momentos de intensa atividade morfogênica na transição entre o Pleistoceno/Holoceno com degradação de encostas e colmatação de fundos de vale, mudanças no divisor de águas regional e inversão de relevo. Esses estudos refletem a ocorrência de mudanças das condições climáticas na região, provavelmente associadas à presença de um clima seco/menos úmido do que o atual no Holoceno médio/superior, passando para condições mais úmidas e temperadas semelhante à atual, desde o Holoceno Superior.

O Holoceno Médio foi um período de alterações globais significativas e no Brasil, os efeitos dessas alterações foram registrados em várias regiões (OLIVEIRA *et al.*, 2005; SERVANT *et al.*, 1993). As alterações climáticas promoveram migrações e desenvolvimento das florestas no Sul do Brasil. O tipo de solo, ação do fogo e o pastejo ainda atuam promovendo variações na paisagem e desenhando o limite Floresta/Campo (JARENKOW; BUDKE, 2009). A Floresta de Araucária se expandiu a partir de 3.000 anos A.P., ao ponto que as espécies tropicais avançaram gradativamente sobre os campos que predominavam em áreas do sul (BEHLING, 1995; 1997; 2002; BAUERMANN; BEHLING, 2009; BERTOLDO *et al.*, 2014; CALEGARI, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2005). Essa época marca uma fase climática úmida consolidada em todo o país (BEHLING, 2002), que também ficou registrada no sinal isotópico da MOS do perfil de CAMBISSOLO HÚMICO aqui estudado.

6.4. ASSINATURA FITOLÍTICA

A assinatura fitolítica da Floresta Ombrófila Mista (Apêndice 4) com *Araucária* é composta predominantemente por 14 morfotipos de fitólitos: *Bilobate short cell*, *Block*, *Bulliform*, *Elongate*, *Globular echinate*, *Globular psilate*, *Hair*, *Hat shape*, *Polylobate*, *Rondel*, *Saddle*, *Tracheid*, *Trapeziform short cell* e *Trapeziform bilobate echinate*. Conforme os morfotipos encontrados, verificou-se que a assinatura fitolítica da FOM é formada pelas famílias Poaceae (subfamílias *Panicoid*, *Pooid*, *Chloridoid* e *Bambusoid*), Eudicotiledoneae, Arecaceae e Cyperaceae.

De modo geral, os morfotipos encontrados na serapilheira da FOM fazem parte do rol de morfotipos de fitólitos da coleção de referência para a FOM, feita por Raitz (2012), em Francisco Beltrão (PR), à exceção do morfotipo *Rondel*, encontrado pelo autor somente na formação de campos.

Em comparação da assembleia de fitólitos do Perfil 1 com os pontos de controle, é possível observar que a assinatura fitolítica é bem parecida. Além das famílias Poaceae (subfamílias *Chloridoid*, *Pooid* e *Panicoid*) e Eudicotiledoneae, predominantes nas amostras, apenas outras duas famílias foram encontradas: Cyperaceae – presente apenas no Perfil 1- e Arecaceae, que, exceto para o Perfil 1, foram encontradas, em algum momento, nos PC's.

A família com maior quantidade de morfotipos identificados, tanto na serapilheira quanto nas amostras superficiais, foi a Poaceae, representada tanto pelos morfotipos sem significado taxonômico, quanto por aqueles morfotipos capazes de individualizar subfamílias. Pela serapilheira é possível indentificar o Perfil 1 como o mais parecido com o PC1, pois ambos apresentam predomínio de Poaceae (sem significado taxonômico – *Elongate*, *Hair*, *Bulliform*, *Tracheid*), seguido por Eudicotiledoneae. Nas duas serrapilheiras é possível identificar a mesma porcentagem para *Pooid* e valores bem parecidos para *Chloridoid* (3% e 6%) e para *Panicoid* (3%). Em contrapartida, na serapilheira do PC2 e PC3, verificou-se maior contribuição de fitólitos de Eudicotiledoneae, seguido por Poaceae (sem significado taxonômico – *Elongate*, *Hair*, *Bulliform*, *Tracheid*). Quanto às subfamílias *Pooid*, *Chloridoid* e *Panicoid*, em ambos os PC's, as porcentagens mantêm-se próximas, com valores iguais ou abaixo de 10.

As amostras superficiais são bastante parecidas, com predomínio de Poaceae (sem significado taxonômico – *Elongate*, *Hair*, *Bulliform*, *Tracheid*), relevante contribuição de Eudicotiledoneae e das subfamílias *Chloridoid*, *Pooid* e valores baixos de *Panicoid*. Há um

registro da família Arecaceae nos pontos de controle e, principalmente, no PC2, contudo, não em número relevante que pudesse o diferenciar dos demais pontos e do perfil.

Embora haja vários indivíduos da família Araucariaceae - *Araucária angustifólia* – no entorno dos pontos amostrados, em nenhuma amostra foi encontrado o morfotipo *Crater shaped*, produzido por esta família (PAR e WATSON, 2007). Embora Calegari 2008 e Calegari *et al.* (20013) tenham identificado o mesmo morfotipo apresentado por Parr e Watson (2007) em solos de Guarapuava (PR) e Machado (MG), o morfotipo *Crater shaped* não foi encontrado nas cinzas de folhas de *Araucaria angustifólia* atual que fazem parte de coleções de referência (RAITZ, 2012) , nem nos solos.

Os valores dos índices fitolíticos para a serapilheira da ESEC Mata Preta são semelhantes àqueles encontrados por Calegari (2008) para Guarapuava. Já os valores dos índices fitolíticos para as amostras superficiais de solo da ESEC constatam se que estes se assemelham mais aos valores D/P encontrados por Raitz (2012) para a FOM em Francisco Beltrão (PR), assim como valores de IC. Os valores de Iph encontrados para essas amostras foram bem mais altos do que aqueles encontrados por Raitz (2012), onde o Iph variou entre nulo e 3. Essa diferença pode estar associada ao morfotipo *Cross*, presente na assembleia de Raitz, mas ausente na ESEC.

7. CONCLUSÕES

De modo geral, os objetivos pretendidos para esta pesquisa foram alcançados, e a hipótese de trocas de vegetação na área de estudo, confirmada.

As análises realizadas para caracterização do solo estudado indicaram se tratar de um CAMBISSOLO HÚMICO, e os demais atributos apontam para um solo de desenvolvimento autóctone a partir de material máfico – Basalto.

A variação isotópica do Perfil de CAMBISSOLO indica que houve uma troca de vegetação entre o Holoceno Médio e o Superior, passando de uma formação mais aberta, com predomínio de plantas C₄, para uma vegetação mista com maior contribuição de plantas C₃ no Holoceno superior, a qual evoluiu para a atual FOM.

A assembleia fitolítica permitiu o refinamento da interpretação dos valores isotópicos, permitindo identificar a contribuição de gramíneas C₃ no sinal isotópico. Entre os índices fitolíticos utilizados para reconstrução da vegetação e das condições climáticas pretéritas, os índices climáticos (IC) e de aridez (I_{ph}) foram eficientes para indicar as variações de umidade e temperatura desde o Holoceno Médio na área, já o índice de cobertura arbórea (D/P) não foi eficiente para marcar a vegetação florestada atual.

De modo geral, foi possível verificar que no Holoceno Inferior/Médio o clima foi mais quente e seco que o atual, e no Holoceno Superior o clima foi mais úmido, acercando-se das condições atuais, onde predomina o clima Cfb.

Com base na assembleia fitolítica da serapilheira e das camadas superficiais do Perfil de CAMBISSOLO e dos Pontos de Controle, conclui-se que a assinatura fitolítica da FOM na área da ESEC Mata Preta é formada por 14 morfotipos representativos das famílias Poaceae (subfamílias *Panicoid*, *Pooid*, *Chloridoid* e *Bambusoid*), Eudicotiledoneae, Arecaceae e Cyperaceae - sendo a primeira família aquela que comporta a maioria dos morfotipos identificados;

Por fim, a assinatura fitolítica da FOM preservada na FOM e no horizonte superficial dos solos apresentou valores de índices fitolíticos que se assemelham aos de outros estudos realizados em FOM, corroborando valores em torno de: I_{ph} entre 46,2% à 82,4%, IC entre 18,8% e 52,6% e D/P e 0,04 e 0,44. Os valores dos índices fitolíticos para a serapilheira da ESEC Mata Preta são semelhantes àqueles encontrados em outros trabalhos realizados no Paraná, em zona de ocorrência de FOM, assim como os valores dos índices fitolíticos para as amostras superficiais de solo que se acercam de outros valores encontrados no Sudoeste do Paraná, em zona de ocorrência da FOM, porém com sinais de interferência antrópica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. N. Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte subsuperficial de cascalhos inhumados do Brasil oriental. **Boletim da Univ. Federal do Paraná, Instituto de Geologia e Geografia Física**, Curitiba, 1961.

_____. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. In: ____ FERRI, M. G. (coord.) **III Simpósio sobre o Cerrado**. São Paulo: Edgard Blucher / EDUSP, 1971, p. 1-14.

_____. **Paleoclimas**. São Paulo: Instituto de Geografia - Universidade de São Paulo, 1977.

_____. Planaltos de Araucárias e Pradarias Mistas. In: ____ **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003, p. 101-114.

_____. **Ecosistemas do Brasil**. São Paulo: Editora Metalivros, 2006.

OLIVEIRA, M. *et al.* Registro de mudanças ambientais pleistocênicas e holocênicas em depósito de cabeceira de vale: Campo Alegre, Planalto Norte Catarinense (SC). **Revista Brasileira de Geociências**. V. 36 (3), 2006, p. 474-487.

ALBERT, R. M.. Nuevo sistema de análisis descriptivo para fitólitos de sílice. **Pyrenae**, nº 26. p.19-38, 1995.

_____. Reconstrucción de la vegetación em África Oriental durante El Plio-Pleistoceno a través del estudio de fitólitos: La Garganta de Olduvai (Tanzania). **Ecosistemas**. 2006, p. 1-13.

ALBERT, R. M. *et al.* Phytolith in the Middle Paleolithic deposits of Kabera Cave, Mt Carmel, Israel: Study of plant materials used for fuel and other purposes. **Journal of Archaeological Science**. 27, 2000, p. 931-947.

ALBERT, R. M. BAMFORD, M. K. CABANES, D..Paleoecological significance of palms at Olduvai Gorge, Tanzania, based on Phytolith remains. **Quaternary International**. V.193, N. 1-2, 2009, p. 41-48.

ALEXANDRE, A., *et al.* .Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering problems. **Geochim. Cosmochim. Acta** 61 (3), 1997, p. 677-682.

ALEXANDRE, A *et al.* Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 136, 1997b, p. 213-229.

ALEXANDRE A.; MEUNIER J. D. Late Holocene phytolith and carbon isotope record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**. V. 51, 1999, p. 187-194.

ALMEIDA, J. A. *et al.* Guia de Excursão Pedológica. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo - Excursão Técnica 1: Solos de altitude e do Litoral Sul de Santa Catarina**. 2013.

BACKES, A. Distribuição geográfica atual da Floresta com Araucária: condicionamento climático. In: FONSECA, Carlos R. (ed). **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto – SP: Holos, Editora, 2009, p. 39-44.

BARBONI, D. *et al.* Comparative study of modern Phytolith assemblages from inter-tropical Africa. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**. V. 246, 2007, p. 454-470.

BAUERMANN, S. G.; BEHLING, H. Dinâmica paleovegetacional da Floresta com Araucária a partir do final do Pleistoceno: o que mostra a palinologia. In: FONSECA, Carlos R. (ed). **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto – SP: Holos, Editora, 2009, p. 35-38.

BENVENUTO, L.L; *et al.* Differentiation of globular phytoliths in Arecaceae and other monocotyledons: morphological description for paleobotanical application. **Turkish Journal of Botany**.V.39, 2015, p.341-353.

BEHLING, H. Investigation into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). **Vegetation History and Archaeobotany**.4, 1995, p. 127-152.

_____. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the *Araucaria* forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). **Review of Paleobotany and Palinology**.97, 1997, p. 109-121.

_____. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 177, 2002, p. 19-27.

BEHLING, H. PILLAR, V. D.P. Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystem. **Philosophical Transactions of the Royal Society**.V. 362, 2007, p. 243-251.

BERTOLDI DE POMAR, E. Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos. **Ameghiniana**.v. 8 n. 3-4, 1971, p. 317-328.

_____. Los sicofitolitos: sinopsis de su conocimiento. **Darwiniana**. v. 19, n.2-4, 1975, p. 173-206.

BERTOLDO, E. Registro Paleoambiental em Cabeceira de Drenagem inscrita no Remanescente de superfície aplainada VIII (A.R.I.E. do Buriti- Sw PR). **Dissertação** (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010, 79 p.

BERTOLDO, E. PAISANI, J. C.; OLIVEIRA, P. E. Registro de Floresta Ombrófila Mista nas regiões Sudoeste e Sul do estado do Paraná, Brasil, durante o Pleistoceno/Holoceno. **Hoehnea**. vol. 41, n.1, 2014, p. 1-8.

BIGARELLA, J. J. MOUSINHO, M. R.; SILVA J. X. Pediplanos, Pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**. V. 16-17, 1965, p. 117-152.

BLINNIKOV, M.; BUSACCA, A.; WHITLOCK, C..A new 100,000-year phytolith record from the Columbia basin, Washington, U.S.A. In: MEUNIER, Jean D.; COLIN, Fabrice. **Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History**. A.A. Balkema Publishers, 2001, p. 27-56

BOLDRINI, I. I. *et al.* Flora. In: BOLDRINI, I. I. (org). **Biodiversidade dos campos do planalto das Araucárias**. Brasília: MMA, 2009, p. 41-94.

BOYD, W. E. *et al.* Phytolith analysis for a wet tropic environment methodological issues and implications for the archaeology of Garua Island, west New Britain, Papua New Guinea. **Palinology**. 22, 1998, p. 2013-228.

BRADY, N. C. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRAGAS, L. A. S. S. Caracterização da cobertura superficial em cabeceira de drenagem sobre substrato vulcânico – Campo Erê (SC). **Dissertação** (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010, 94 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Mapa Hidrogeológico do Estado de Santa Catarina - Escala 1:500.000. Porto Alegre, RS: **Serviço Geológico do Brasil - CPRM**, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O sistema nacional de Unidades de Conservação da natureza**. 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/areas-protegidas/category/51-unidades-de-conservacao>>. Acesso em 23 maio 2014.

BREEMEN, N.V.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. Academic Publishers, 2 ed. 2002.404p.

BREMOND, L.*et al.* Advantages and disadvantages of phytolith analysis for the reconstruction of Mediterranean vegetation: an assessment based on modern phytolith, pollen and botanical data (Luberon, France). **Review of Paleobotany and Palynology**.129, 2004, p. 213-228.

BREMOND, L.*et al.* Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. **Journal of Biogeography**.32, 2005, p. 311-327.

BREMOND, L.*et al.* Phytolith índices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. **Global and Planetary change**. V. 61, 2008, p. 209-224.

BRIGHENTI, C. A. Povos indígenas em Santa Catarina. In: NOTZOLD, Ana L. V *et al.* **Etnohistória, História Indígena e educação: Contribuição para o debate**. Porto Alegre: Palotti. V. 1, 2012, p. 37-65.

BRUSTOLIN, L. T.; CALEGARI, M. R. Coleção de Referência de fitólitos de eudicotiledoneas da Floresta Ombrófila Densa: Subsídios para reconstrução paleoambiental. VIII Semana Acadêmica de Geografiae VIII Expedição geográfica. **Anais**. Marechal Cândido Rondon, 2013.

BUOL, S. W. *et al.* **Soil Genesis and Classification**. The Iowa State University Press, Ames 5. ed. 2003.

BOUTTON, T. W. Stable Carbon Isotope Ratios of Soil Organic Matter and their Use as Indicator of Vegetation and Climate Change. Chap. 2 In; BOUTTON T. W.; YAMASAKI, S. **Mass Spectrometry of Soils**. Dekker, 1996, p. 47-84.

CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos**. Piracicaba, 2008. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP.

CALEGARI, M. R. *et al.* Combining phytolith and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene paleoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary International**. 287, 2013, p. 47-55.

CALEGARI, M. R. *et al.* Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**. 287, 2013b, p. 56-62.

CALEGARI, M. R. *et al.* Phytolith signature from grassland and Araucaria Forest in Southern Brazil. COE, H. E. G. OSTERRIETH, M. (Ed.) **Syntesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. Nova Iorque: Nova Publishers. 2014.

CARBONERA, Miriam. Notas sobre a história das sociedades pré-coloniais do Oeste Catarinense. **Tempos Acadêmicos** - Dossiê Arqueologia Pré-Histórica. N. 11, 2013, p. 117 – 134.

CARNELLI, A. L. Long term dynamics of the vegetation at the subalpine-alpine ecocline during the Holocene : comparative study in the Aletsch region, Val d'Arpete and Furka Pass (Valais, Switzerland). **Tese** (Doutorado em Ciências). Université de Genève. 2002, 349 p.

CECCHET, F. A. **Conjunto de fitólitos dos estratos inferiores da Floresta Ombrófila Densa (Linhares – ES): subsídios para reconstrução paleoambiental**. Monografia – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.

CLEMENTE, C. A. e AZEVEDO, A. C. Mineral weathering in acid saprolites from subtropical, Southern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 6, 2007, p. 601-607.

COE, H. E. G. OSTERRIETH, M. (Ed.) **Syntesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. Nova Iorque: Nova Publishers. 2014.

COE, H. E. G *et al.* Understanding Holocene variations in the vegetation of Sao Joao River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**. 2014, *in press*.

COE, H. E. G *et al.* Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brasil): evidence from soil phytolith assemblages. **Quaternary International**. 287, 2013, p. 63-72.

COMBES, J.M. *et al.* Formation of ferric oxides from aqueous solution: A polyhedral approach by X-ray absorption spectroscopy: I. Hydrolysis and formation of ferric gels. *Geochemical and Cosmochemical. Acta*, 53, 1989, p.583-594.

CORRÊA, J. Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do estado de Santa Catarina. **Dissertação** (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Estadual de Santa Catarina, Lages, 2003, 146 p.

CORTELETTI, R.. Projeto arqueológico Alto Canoas – Paraca – um estudo de presença Jê no planalto catarinense. **Tese** (Doutorado em Arqueologia).Universidade de São Paulo. 2012, 319 p.

COSTA, A.C.S. Iron oxide mineralogy of soils derived from volcanic rocks in the Paraná River Basin, Brazil. **Tese** (Doutorado em Agronomia) Ohio State University, 1996. 242p.

DELHON, C. *et al.*Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation. **Quaternary research**.N.59, 2003, p. 48-60.

DESJARDINS, T. *et al.* Changes of the Forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene revealed by stable isotope ratios of soil organic carbon. **Oecologia**. 108, 1996, p. 749-756.

DICK, E.; DANIELI, M. A.; ZANINI, A. M. (Orgs).**Gestão participativa em Unidades de Conservação**: Uma experiência na Mata Atlântica. Rio do Sul – SC APRAMEVI, 2012.

DIESTER-HASS, L. *et al.* Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa. **Meteor Forsch-Ergebnisse**.C. 16, 1973, p. 19-66.

DILLENBURG, L. R. *et al.* Aspectos ecofisiológicos da regeneração de *Araucária angustifolia*. In: FONSECA, Carlos R. (ed). **Floresta com Araucária**: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável. Ribeirão Preto – SP: Holos, Editora, 2009, p. 57-65.

DUTRA, T. L.; STRANZ, A.. Biogeografia, evolução e ecologia da família Araucariaceae: o que mostra a Paleontologia. In: FONSECA, Carlos R. (ed). **Floresta com Araucária**: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável. Ribeirão Preto – SP: Holos, Editora, 2009, p. 15-33.

DUZZIONI, R. I. Levantamento de dados secundários – Geologia e Geomorfologia do Parna das Araucárias.**Associação de Preservação do Meio Ambiente e da Vida**. [s.d]. 30 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

EMBRAPA. Solos do Estado de Santa Catarina. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. V. 46, 2004, 745p.

EMBRAPA.**Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília-DF: Embrapa, 3a edição, 2013, 353 p.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF L.E; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER G.H. (Eds.) **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science. 2001, p.1-15.

FACHIN, A. Quadro evolutivo de paleocabeceira de drenagem do rio Chopinzinho – Planalto das Araucárias (Superfície 2). **Dissertação** (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2013, 98 p.

FELIPE, P. L. L. **Coleção de referência de fitólitos de eudicotiledoneae da Floresta Ombrófila densa**: subsídios para estudos paleoambientais em regiões tropicais. Marechal Cândido Rondon, 2012. Monografia (Licenciatura em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste.

FERNANDES, F. A *et al.* 13C e a dinâmica do carbono orgânico do solo em pastagem cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. **Embrapa Pantanal**. 2007, p. 4-20.

FREDLUNG G. G.; TIESZEN L.L. Modern Phytolith assemblages from the North American Great Plains. **Journal of Biogeographic**. V. 21, 1994, p. 321-335.

FREDLUNG G. G.; TIESZEN L.L. Phytolith and carbon isotope evidence for Late Quaternary vegetation and climate change in the southern Black Hills, South Dakota. **Quaternary Research**. San Diego, v.47, 1997, p. 206-217.

FREITAS, M. A. (Org.) **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do Oeste do Estado de Santa Catarina** – Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/DAS-SC/EPAGRI, 2003.

GEREMIA, F. Compreensão da evolução das encostas do médio vale do rio Marrecas (Planalto Basáltico – SW PR) através da caracterização de depósitos de colúvio. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2009, 78 p.

GOUVEIA, S. E. M.; PESSENDA, L. C. R.; ARAVENA, R. Datação da fração húmica da matéria orgânica do solo e sua comparação com idades 14c de carvões fósseis. **Química Nova**. 22 (6), 1999, p. 810-814.

GUERRA, S. 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 (Dissertação Mestrado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012, 100 p.

HARVEY, E. L.; FULLER, D. Q. Investigating crop processing through phytolith analysis: the case of rice and millets. **Journal of Archaeological Science**, 32, 2005, 739-752.

IBGE. **Levantamento de recursos naturais do projeto Radam-Brasil**. Folha SH.22. Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e Si. 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2007.

IBGE. **Mata Atlântica:** Mapa da área de aplicação da Lei Nº 11.428/2006. Caracterização geral dos tipos de vegetação. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Ministério do Meio Ambiente. 2008.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** Rio de Janeiro, 2012.

INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY. **International Chronostratigraphic Chart.** V. 2014/02, 2014. Disponível em: <<http://stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>> Acesso em: 04 de junho de 2014.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Paraná – Classificação climática. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>> Acesso em: 06/06/2014.

IRIARTE, J.; PAZ, E. A. Phytolith analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archaeological reconstruction. **Quaternary International.** 193, 2009, p. 99-123.

JARENKOW, J. A. BUDKE, J. C. Padrões florísticos e análise estrutural de remanescentes de Floresta com Araucária no Brasil. In: FONSECA, Carlos R. (ed). **Floresta com Araucária:** ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável. Ribeirão Preto – SP: Holos, Editora, 2009, p. 113- 123.

KÄMPF, N. *et al.* Estrutura básica de argilominerais 2:1 com hidróxi-Al entrecamadas em Latossolo Bruno do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 19, 1995, p. 185-190.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER J. C. **Pedologia:** Fundamentos. Viçosa- MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2012, p. 208-291.

LEDRU, M. P., et al. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10.000 yr BP. **Review of Paleobotany and Palynology.** 99, 1998, p. 131-142.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

_____. Processos e Fatores de formação do Solo. In: _____. **19 lições de Pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011, p. 271-292.

LIMA, J. G. G. Ocorrência e gênese de derrame alterado sob rocha sã no Planalto de Palmas (PR)/ Água Doce (SC). **Dissertação** (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2013, 167p.

MA J. F. *et al.* Silicon as a benefic element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDORFER, G.H. (Eds.) **Silicon in agriculture.** Amsterdam, Elsevier. 2001, p.17-39.

MAACK, R. Linhas Fundamentais da Geografia Física do Paraná. In: _____. **Geografia Física do Estado do Paraná.** Rio de Janeiro: José Olympio Editora. 1981, p. 73-426.

MACEDO, R. S. Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba-AM. **Tese** (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo. 2014, 185 p.

MACHADO, J. L. F. **Mapa Hidrogeológico do Estado de Santa Catarina**. Porto Alegre: CPRM, 2013.

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. **Journal of Archaeological Science**. V.25, 1998, p. 801-803.

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

MADELLA, M.; Phytoliths: a terrestrial botanical dataset for paleoenvironmental reconstructions. **Geophysical Research Abstracts**. 9, 2007.

MARTINELLI, L. A. *et al.*, **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MEDEANIK, S.; STEVAUX, J. C. Palinomorfose partículas de carvões nos sedimentos holocênicos na região do alto rio Paraná e sua aplicação nas reconstruções paleoambientais e paleoclimáticas. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. V. 30, n. 04, 2008 p. 351-359.

MEDEIROS, J.D.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A.. Seleção de áreas para criação de Unidades de Conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**.18, (2), 2005, p. 33-50.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a Dithionite-Citrate system buffered with Sodium Bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**. 7, 1960, p. 317-327.

MELO, G.W. *et al.* Fontes de potássio em solos distroférricoscauliníticos originados de basalto do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 28, 2004, p.597-603.

MENDONÇA, F. DANNI-OLIVEIRA, I. M. Brasil: Aspectos termopluiométricos e tipos climáticos. In: ____ . **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p. 139-149.

MERCADER, J. *et al.* Phytoliths in woody plants from the miombo woodlands of Mozambique. **Annals of Botany**. 104, 2009, p. 91-113.

MESSAGER, E. *et al.* Paleocological implications of the Lower Pleistocene phytolith record from the Dmanisi Site (Georgia). **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**. 288, 2010, p. 1-13.

MORRIS, L. R. *et al.* Phytolith types and type-frequencies in native and introduced species of the sagebrush steppe and pinyon-juniper woodlands of the Great basin, USA. **Paleobotanical Palynology**. V. 157, 2009, p. 339-357.

MULHOLLAND, S. C; RAPP, G. Jr. **Phytolith systematics: Emerging issues**. New York: Plenum Press, 1992.

NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**. V. 52, N°5, 1988, p. 1.633-1.640.

NARDY, A. J. R. *et al.* Caracterização litoquímica e aspectos petrológicos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral: Região Centro-Sul do estado do Paraná. **Geociências**. v. 2. 1993, p. 275-313.

O'LEARY, M.H. Carbon isotope fractionation in plants. **Phytochemistry**. 20, 1981, p. 553-567.

OLIVEIRA, P. E. *et al.* Paleovegetação e Paleoclimas do Quaternário do Brasil. In: SOUZA, Célia R.G. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto- SP: Holos Editora, p. 52-74, 2005.

OLIVEIRA, Marcelo A. T. *et al.* Registro de mudanças ambientais Pleistocênicas e Holocênicas em depósitos de cabeceira de vale: Campo Alegre, Planalto Norte Catarinense (SC). **Revista Brasileira de Geociências**. 36 (3), p. 474-487, 2006.

OLIVEIRA, L. Evolução de pequeno leque aluvial quaternário no Planalto das Araucárias. **Dissertação** (Mestre em Geografia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014, 110 p.

ORLANDI FILHO, V. *et al.* Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC – Seção Geológica Clássica do Continente Gondwana no Brasil. In: WINGE, M. *et al.* **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009.

OROMBELLI, G. *et al.* Quaternary Stratigraphy ice cores. **Quaternary International**. 209, 2010, p. 55-65.

OSTERRIETH, M. *et al.*, Taphonomical aspects of silica phytolith in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**. 193, 2009, p. 70-79.

PACHECO, A. A. Pedogênese e distribuição espacial dos solos da bacia hidrográfica do Rio Alegre – ES. **Dissertação** (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa. 2011.

PAISANI, J. C.; *et al.* Superfícies aplainadas em zona morfoclimática subtropical úmida no planalto basáltico da bacia do Paraná (SW Paraná / NW Santa Catarina): primeira aproximação. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 27, 2008, p. 541-553.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; CALEGARI, M. R. Evolução de bacias de baixa ordem nos 41.000 anos AP – Brasil Meridional. **Mercator**. Vol. 11, N. 26, 2012, p. 131-148.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; FACHIN, A. Micromorfologia de fluxos de lama subaéreos quaternários no Planalto das Araucárias – Sul do Brasil. **Anais IX Simpósio Nacional de Geomorfologia**. 2012, p. 1-5.

PAISANI, J. C. *et al.* 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, 2013, p. 103-116.

PAISANI, J. C. *et al.* Paleosols in low-order streams and valley heads in the Araucaria Plateau e Record of continental environmental conditions in southern Brazil at the end of MIS 3. **Journal of South American Earth Sciences**. 54, 2014, p. 57-70.

PARANÁ. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Tabela de dados climatológicos** – Estação Meteorológica de Palmas (PR); 2015.

PARR, J. F.; WATSON, L. Morphological characteristics observed in the leaf phytoliths of selected Gymnosperms of eastern Australia. In: MADELLA, M.; ZURRO, D. **Plants, People and Places** – recent studies in Phytolith analysis. Oxbow Books, 2007.

PEDRON, F. A. Mineralogia, morfologia e classificação de saprólitos em Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul. **Tese** (Doutorado em ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria, 2007, 160 p.

PEARSALL, D. M. Phytolith Analysis: Applications of a New Paleoethnobotanical Technique in Archeology. **American Anthropologist**. Vol. 84. Nº 4, 1982, p. 862-871.

PEARSALL, D. M. **Paleoethnobotany** — a Handbook of Procedures. Academic Press, San Diego, 2000.

PESSENDA, L. C. R. The use of carbon isotopes (¹³C, ¹⁴C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil. **Radiocarbon**. Vol. 38, no 2, 1996, p. 191-201.

PESSENDA, L. C. R. *et al.* Isótopos do Carbono e suas aplicações em estudos Paleoambientais. In: SOUZA, Célia R. G. *et al.* **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto SP: Holos Editora, p. 75-93, 2005.

PESSENDA, L. C. R. *et al.* Interdisciplinary paleovegetation study in the Fernando de Noronha Island (Pernambuco State), northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Vol. 80, nº 4, 2008, p. 677 -691

PEZZO, M.. Datação por Carbono – 14. **Univerciência**. Dezembro, 2002, p. 4-6.

PILLAR, V. P. *et al.* Mosaico de Campos e Floresta com Araucária: dilemas para a conservação. In: FONSECA, Carlos R. (ed). **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto – SP: Holos, Editora, 2009, p. 273 – 283.

PIPERNO, D. R. **Phytolith analysis**. An archaeological and geological perspective. Academic Press, San Diego, 1988.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists**. Lanham MD, Alta Mira Press. 2006 p. 238.

PONTELLI, M. E. BRAGAS, L. A. S. S. PAISANI J. C. Características genéticas da cobertura superficial em cabeceira de drenagem sobre substrato vulcânico - Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada - Dinâmicas Socioambientais das inter-relações às interdependências.**Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, 2011. v. 1. p. 1-11, 2011.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** Editora Nobel, 2002. 549 p.

PROCHNOW, M. (Org.). **O Parque Nacional das Araucárias e a Estação Ecológica da Mata Preta:** Unidades de Conservação da Mata Atlântica. Rio do Sul: APRAMEVI, 2009.

RAITZ, E. **Coleção de referência de Silicofitólitos da flora do Sudoeste do Paraná:** subsídios para estudos paleoambientais. Francisco Beltrão 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

RESENDE, M.*et al.***Pedologia:** base para distinção de ambientes. Lavras: Editora UFLA, 2007.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P.; Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos latossolo. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: EMBRAPA – SNLCS, 1988, p. 225-232 . (EMBRAPA – SNLCS. Documentos, 12).

RÍOS, R. C.; GALVÃO, F.; CURCIO, G. R. Variaciones estructurales de la vegetacion arbórea em três ambientes de una selva con Araucaria en Misiones, Argentina. **Floresta**, v. 38, n. 4, 2008, p.743-756.

RODRIGUES, R. A. R. Estágio de Intemperismo de perfil laterítico em área subtropical com substrato basáltico – Superfície aplainada VI (SW PR). **Dissertação** (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011, 67p.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: **Embrapa – Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.** 2010.

ROVNER, I. Potential of Opal Phytoliths for Use in Paleoecological Reconstruction.**Quaternary Research** 1. p.343-359, 1971.

RUNGE, F. The opal phytoliths inventory of soils in Central Africa – quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Paleobotany and palynology.** 107, 1999, p. 23 – 53.

SAIA, S.E.M.G. *et al.* Last glacial maximum (LGM) vegetation changes in the Atlantic Forest, southeastern Brazil. **Quaternary International** 184: 195-201, 2008.

SALGADO-LABORIAU, M L. O Período Quaternário. In: ____ **História Ecológica da Terra.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998, p. 255-292.

- SALGADO-LABOURIAU, M. L. O ambiente físico no Quaternário. In: ____ **Critérios e técnicas para o Quaternário**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007, p. 1 – 19.
- SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; LING, L.E. C. Biomineralisation/encironment interactions in conifers: Illustrated by hemlock, *Tsuga Canadensis* (L.) Carr. **Quaternary International**. 193, 2009, p. 3-10.
- SANQUETTA, C. R. *et al.* Estrutura vertical de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná. **Revista Floresta**, 32(2), 2002, p. 267-276.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L. Floresta com araucária e suas transições. In: SANQUETTA, Carlos R. *et al.* **Floresta com araucária e suas transições: pesquisas ecológicas de longa duração**. Curitiba: Multi-Graphic, 2014, p 17-31.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1991.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca. Tipos Climáticos. Florianópolis-SC: **Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural**. 2001. Disponível em <http://www.ciram.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=708:atlas-climatologico&catid=2> Acesso em 06/06/2014.
- SANTOS, R.D. dos *et al.* **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5a edição, 2005, 91 p.
- SANTOS, G. M. *et al.* The phytolith 14C puzzle: a tale of background determinations and accuracy tests. **Radiocarbon**. v. 52, 2010, p. 113–128.
- SANTOS, G. M. *et al.* Possible source of ancient carbon in phytolith concentrates from harvested grasses. **Biogeosciences**. v. 9, 2012, p.1873–1884.
- SARTORI, P. L. P. *et al.* Os principais tipos de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná no Planalto de Santa Catarina. **Ciência e natureza**.v. 4, p. 71-84, 1982.
- SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, N. **Soils: Genesis and geomorphology**. Cambridge University Press, New York. 2005, 791p.
- SCHEEL-YBERT, R.; *et al.* Proposta de amostragem padronizada para macrovestígios bioarqueológicos: antracologia, arqueobotânica, zooarqueologia. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia** 15-16, 2006, p. 139-163.
- SCHEIBE, L. F. A geologia de Santa Catarina – Sinopse provisória. **Geosul**. No 1, 1o semestre. 1986, p. 7-38.
- SCHMITZ, P. I. A ocupação pré-histórica do estado de Santa Catarina. **Tempos Acadêmicos-Dossiê Arqueologia Pré-Histórica**. N. 11, 2013, p. 6-24.
- SCHNEIDER, R. L. *et al.* Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. **Anais XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**. Porto Alegre-RS: SBG, v. 1, 1974, p. 41-65.

SEGER, Celso D. *et al.* Levantamento florístico e análise fitossociológica de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista localizado no Município de Pinhais, Paraná-Brasil. **Floresta**, v. 35, n. 2, 2005, p. 291-302.

SERVANT, M. *et al.* Tropical forest changes during the Late Quaternary in African and South American lowlands. **Elsevier Science Publishers B V**, 7, p. 25-40, 1993.

SOARES, R. V. Considerações sobre a regeneração natural da *Araucaria angustifolia*. **Revista Floresta**, V. 10, n. 2, 1979, p. 12-18.

SODRÉ, J. B. Morfologia das palmeiras como meio de identificação e uso paisagístico. Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras. Lavras – Minas Gerais/Brasil. 2005.

SOMMER, M.; *et. al.* Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. **J. Plant Nutr. Soil Sci.** 169, 2006, 310–329.

SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA, A. F. Descrição da Estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta bot. bras.** 21 (4), 2007, p. 943-955.

STEVAUX, J. C. PAROLIN, M. Síntese do Período Quaternário do Estado do Paraná. In: PAROLIN, M. *et al.* (org.) **Abordagem ambiental interdisciplinar em Bacias Hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão: Editora Fecilcam, 2010, p. 43- 57.

STÖMBERG, Caroline A. E. Using phytoliths assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**. 207, 2004, p. 239-275.

STÖMBERG, C. A. E. *et al.* The spread of grass-dominated habitats in Turkey and surrounding areas during Cenozoic: Phytolith evidence. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**. V.250, 2007, p. 18-49.

SUGUIO, K. As Mudanças Paleoclimáticas e seus Registros. In: ___ **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais: (passado + presente = futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999, p. 51 – 72

THORN, V. Phytoliths in palaeoecology. **Geology Today**, Vol. 23.n.º4, 2007, p.153 – 157.

TRUFFI, S. A. e CLEMENTE, C. A. Alteração de plagioclásios dos riodacitos da Formação Serra Geral (JKsg) da região de Piraju – SP. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, 2002, p. 383-388.

TWISS P.C. Grass opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. In: Johnson W.C. (Ed.), **Quaternary Environments of Kansas. Kansas Geological Survey Guidebook**, v.5, 1987, p.179-188.

_____. Predicted world distribution of C3 and C4 grass Phytolith. In: RAPP, George Jr.; MULHOLLAND, Susan C. **Phytolith Systematics – Emerging Issues**. Advances in Archaeological and Museum Science. New York: Plenum Press, Vol. 1, 1992, p. 113-128.

____. A Curmudgeon's view of grass phytolithology. In: MEUNIER, Jean D.; COLIN, Fabrice. **Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History**. A.A. Balkema Publishers, 2001, p. 7-25.

TWISS, P. C. *et al.* Morphological classification of grass phytoliths. **Soil Science Society of America Proceedings**. 1969, p.109-115.

UNITED STATES. Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service. The Soils that we classify. In: ____ **Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436, 2 edição, 1999

VELOSO, H. P. RANGEL FILHO, A. L. R. ;LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 1991, 123 p.

VIEIRA, E. M.; IOB, Graziela. Dispersão e predação de sementes de *Araucaria angustifolia*. In: FONSECA, C. R. (ed). **Floresta com Araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável**. Ribeirão Preto – SP: Holos, Editora, 2009, p. 85-95.

VIEIRA, E. L. *et al.* Fisiologia comparada de plantas C3, C4 e CAM. In: ____ **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luiz: EDUFMA, 2010, p. 106- 111.

WILDING, L.P., *et al.* Silica in soils: quartz, cristobalite, tridymite and opal. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Mineral in soil environments**. Madison, Soil Science Society of America, 1977, p. 471-542

ZURRO, D. El análisis de fitolitos y su papel en el estudio del consumo de recursos vegetales en La prehistoria: bases para una propuesta metodológica materialista. **Trabajos de prehistoria**. Vol. 63, N.º 2, 2006, p. 35-54.

ZURRO, D.; LANCELOTTI, C.; MADELLA, M. Fitólitos, almidones y fibras. In: GARCÍA-DIEZ, M.; ZAPATA, L. **Métodos y Técnicas de Análisis y estudio en arqueología prehistórica: De lo técnico a la reconstrucción de los grupos humanos**. Universidad Del País Vasco: Argitalpen Zerbitzua Serviço Editorial, 2013, p. 291 – 306.

ZANINI, A. M. Estação Ecológica Mata Preta. In: DICK, E.; DANIELI, M. A.; ZANINI A. M. **Gestão Participativa em Unidades de Conservação: uma experiência na Mata Atlântica**. Rio do Sul-SC: APRAMEVI, 2012, p. 32 – 33.

++

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Descrição Geral e Morfológica do Perfil 1 e dos Pontos de Controle.

PERFIL: Perfil 1

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico léptico latossólico

LOCALIZAÇÃO: Estação Ecológica Mata Preta – ESEC, fragmento 3. Coordenadas: 26°27'55.4'' Lat. S; 52°12'49.9'' Long. W.

ALTITUDE: 1.007 metros

SITUAÇÃO NA PAISAGEM: Perfil descrito em trincheira aberta em situação de topo da vertente.

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Basalto – Formação Serra Geral

ATERIAL DE ORIGEM: Alteração do basalto

RELEVO LOCAL: suave ondulado a ondulado

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

EROSÃO: Não aparente

CONTATO LÍTICO: aparente

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Rochosa

LENÇOL FREÁTICO: não presente

VEGETAÇÃO NATIVA: Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012).

USO ATUAL: Estação Ecológica Mata Preta - ESEC

DESCRITO E COLETADO: Marcia Regina Calegari; Paula Louíse L. F. Ewald; Luciane Marcolin; Fernanda Aparecida Cecchet.

Descrição Morfológica

A - 0-15 cm Bruno muito escuro (7.5YR 2.5/3) úmido e seco; textura argilosa; estrutura granular pequena e fraca; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; muitas raízes muito grossas e grossas, fasciculadas; transição difusa/plana.

AB - 15-30 cm Bruno muito escuro (7.5YR 2.5/3) úmido e Bruno (7.5YR 4/3) seco; textura argilosa; estrutura em blocos subangulares muito pequeno/pequeno e fraca; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa e ligeiramente plástica; muitas raízes muito grossas e grossas; transição difusa/plana.

BA – 30-60 cm Bruno avermelhado escuro (5YR 3/4) úmido e seco; textura argilosa; estrutura em blocos subangulares pequeno/médio e fraca; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa, ligeiramente plástica/plástica; muitas raízes grossas e

médias; transição difusa/plana.

- Bi – 60-79 cm Bruno avermelhado escuro (5YR 3/4) úmido e seco; textura argilosa; estrutura em blocos subangulares pequeno/médio e fraca/moderada; consistência ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente pegajosa e plástico; muitas raízes médias e finas; transição difusa/plana.
- CR – 79-140 cm Bruno avermelhado escuro (5YR 3/4) úmido e seco; textura média siltosa; estrutura em blocos subangulares médios e moderada; consistência ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente pegajosa e plástico; raízes finas e muito finas; transição abrupta ondulada.

PERFIL: PC1

CLASSIFICAÇÃO: --

LOCALIZAÇÃO: ESEC Mata Preta – fragmento 3. Coordenadas: 26°29'09.3'' Lat. S; 52°10'35.8'' Long. W

ALTITUDE: 914 metros

SITUAÇÃO NA PAISAGEM: Perfil descrito em barranco dentro da ESEC, em situação de média alta vertente.

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Basalto – Formação Serra Geral

ATERIAL DE ORIGEM: Alteração de basalto

RELEVO LOCAL: suave ondulado a ondulado

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

EROSÃO: Não aparente

CONTATO LÍTICO: ----

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Rochosa

LENÇOL FREÁTICO: não presente

VEGETAÇÃO NATIVA: Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012).

USO ATUAL: Estação Ecológica Mata Preta - ESEC

DESCRITO E COLETADO: Marcia Regina Calegari; Paula Louíse L. F. Ewald; Luciane Marcolin; Fernanda Aparecida Cecchet.

Descrição morfológica

- 0-20 cm Bruno avermelhado escuro (2,5YR 3/4) úmido e Bruno avermelhado escuro (5YR 3/4) seco; textura argilosa; estrutura grumosa pequena e fraca; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa, ligeiramente plástico/plástico; muitas raízes grossas, médias e muito finas; transição difusa/plana.

PERFIL: PC2

CLASSIFICAÇÃO: --

LOCALIZAÇÃO: Estação Ecológica Mata Preta – ESEC fragmento 3. Coordenadas: 26°29'09.5'' Lat. S; 52°10'36.1'' Long. W

ALTITUDE: 911 metros

SITUAÇÃO NA PAISAGEM: Perfil descrito em barranco em situação de média vertente.

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Basalto – Formação Serra Geral

ATERIAL DE ORIGEM: Alteração de basalto

RELEVO LOCAL: suave ondulado a ondulado

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

EROSÃO: Não aparente

CONTATO LITICO: ----

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Rochosa

LENÇOL FREÁTICO: não presente

VEGETAÇÃO NATIVA: Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012).

USO ATUAL: Estação Ecológica Mata Preta - ESEC

DESCRITO E COLETADO: Marcia Regina Calegari; Paula Louíse L. F. Ewald; Luciane Marcolin; Fernanda Aparecida Cecchet.

Descrição morfológica

0-20 cm Bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/3) úmido e Bruno avermelhado escuro (5YR 3/3) seco; textura muito argilosa/argilosa; estrutura granular média/grande e fraca; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa, ligeiramente plástico; muitas raízes, muito grossas, grossas, médias, finas e muito finas; transição difusa/plana.

PERFIL: PC3

CLASSIFICAÇÃO: --

LOCALIZAÇÃO: Estação Ecológica Mata Preta – ESEC fragmento 3. Coordenadas: 26°29'22.9'' Lat. S; 52°12'19.1'' Long. W

ALTITUDE: 904 metros

SITUAÇÃO NA PAISAGEM: Perfil descrito em barrancodentro da ESEC, posicionado no terço médio da vertente, em um pequeno divisor local.

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Basalto – Formação Serra Geral

ATERIAL DE ORIGEM: Alteração de basalto

RELEVO LOCAL: suave ondulado a ondulado

RELEVO REGIONAL: suave ondulado a ondulado

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

EROSÃO: Não aparente

CONTATO LITICO: ----

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Rochosa

LENÇOL FREÁTICO: não presente

VEGETAÇÃO NATIVA: Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012).

USO ATUAL: Estação Ecológica Mata Preta - ESEC

DESCRITO E COLETADO: Marcia Regina Calegari; Paula Louíse L. F. Ewald; Luciane Marcolin; Fernanda Aparecida Cecchet.

Descrição morfológica

- A – 0-10 cm Bruno avermelhado escuro (5YR 3/4) úmido e Bruno avermelhado (5YR 4/4) seco; textura muito argilosa; estrutura granular/blocos subangulares pequeno e fraca; consistência ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente pegajosa, plástico; muitas raízes, muito grossa, grossa, média, fina e muito fina; transição difusa/plana;
- A2 – 10-30 cm Bruno avermelhado escuro (5YR 3/3) úmido e Bruno avermelhado (5YR 4/3) seco; textura argilosa; estrutura blocos subangulares pequeno e fraca; consistência ligeiramente dura/dura, friável, ligeiramente pegajosa, plástico/muito plástico; muitas raízes, muito grossa, grossa, média, fina e muito fina; transição difusa/plana;

APÊNDICE 2

Tabelas de granulometria

Porcentagem de areia, silte e argila do Perfil 1 – por horizontes de solo			
Horizonte	Areia	Silte	Argila
A	5.65%	50.38%	43.95%
Ab	4.21%	46.29%	49.5%
Ba	3.67%	42.98%	53.35%
B	3.89%	41.71%	54.4%
Cr	18.20%	48.69%	33.11%

Porcentagem de areia, silte e argila do Perfil de Controle 1 (PC1) – a cada 10cm.			
Profundidades	Areia	Silte	Argila
0-10	5.16%	48.51%	46.33%
10-20	4.83%	56.92%	38.25%

Porcentagem de areia, silte e argila do Perfil de Controle 2 (PC2) – a cada 10cm.			
Profundidades	Areia	Silte	Argila
0-10	3.94%	32.53%	63.53%
10-20	3.53%	46.33%	50.14%

Porcentagem de areia, silte e argila do Perfil de Controle 3 (PC3) – a cada 10cm.			
Profundidades	Areia	Silte	Argila
0-10	9.18%	27.88%	62.94%
10-20	6.60%	35.23%	58.17%

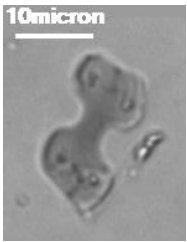
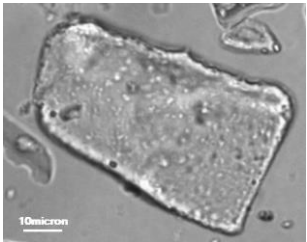
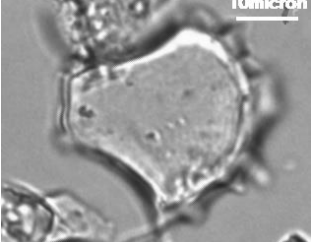
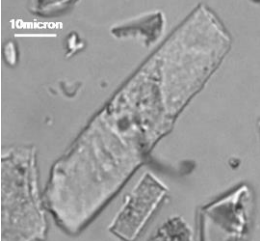
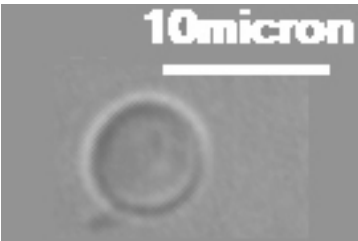
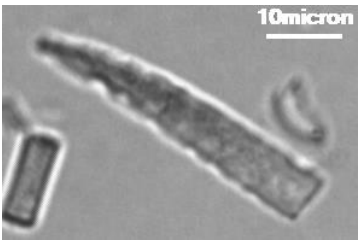
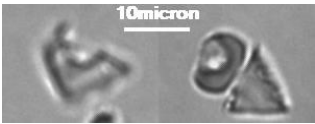
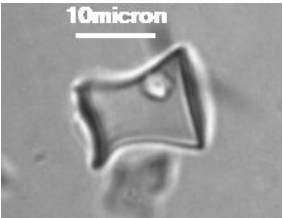
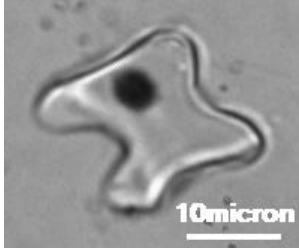
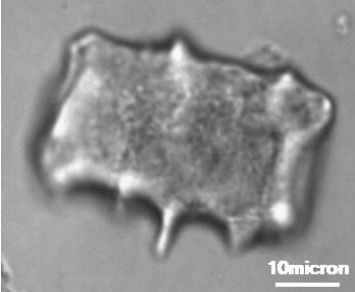
APÊNDICE 3 – DADOS FÍSICO QUÍMICOS DO PERFIL 1

Tabela de Atributos químicos e ataque sulfúrico – Perfil CAMBISSOLO HÚMICO

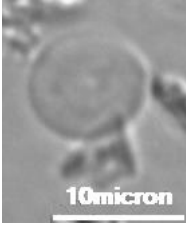
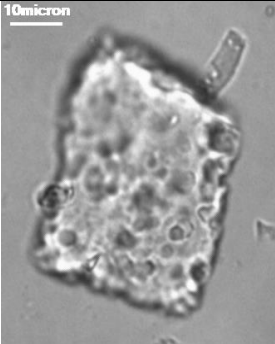
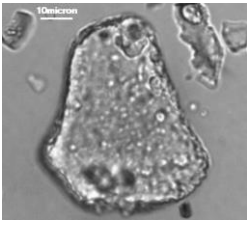
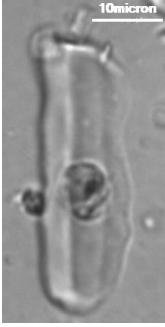
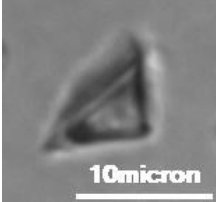
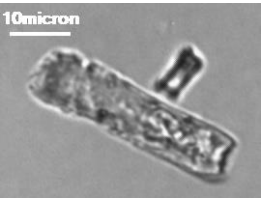
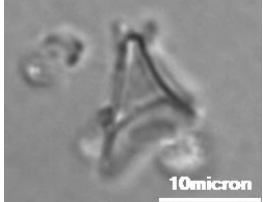
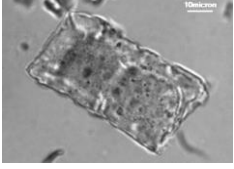
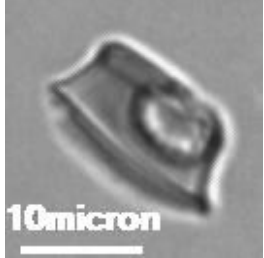

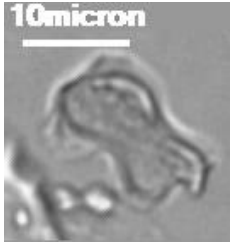

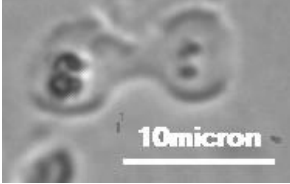
Horizonte	Profundidade	pH	V%	M.O.	COT	P	B	Cu	Fe	Mn	Zn	K	Ca	Mg	H+Al	Valor S	C.T.C.
		CaCl ₂															
A	0-15 cm	4,3	33	91	52,9	14	0,56	4,2	72	14,2	1	0,34	5,5	1,6	15	7,44	22,44
BA	30-60 cm	4	2	42	24,4	4	0,14	3,6	13	0,1	0	0,04	0,2	0,2	18,5	0,44	18,94
Bi	60-80 cm	5,1	1	30	17,4	5	0,19	2,3	12	0	0	0,03	0,1	0,1	1,8	0,23	2,03
Profundidade		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFSA			TiO ₂	MnO	Ki	Kr							
		-----g.kg ⁻¹ -----															
A	0-15 cm	99	160,2	105,3			54,3	0,313	1,05	0,74							
AB	15-30 cm	91	185,4	117,2			57,7	0,249	0,83	0,59							
BA	30-60 cm	126	198,5	122,1			59,5	0,216	1,08	0,77							
Bi	60-79 cm	138	206	127,6			64,2	0,210	1,14	0,82							
CR	80 -100 cm +	100	240,8	178,2			58,2	0,300	0,71	0,48							

**APÊNDICE 4 – MORFOTIPOS DE FITÓLITOS DA ASSEMBLEIA DO PERFIL 1,
POR ZONAS FITOLÍCAS**

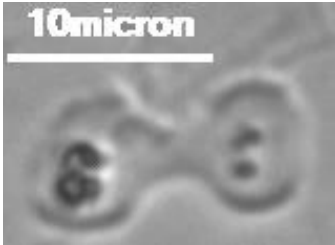
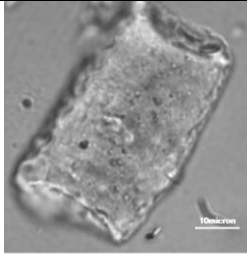
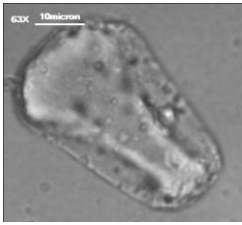
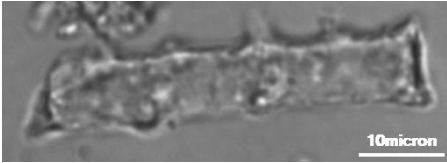

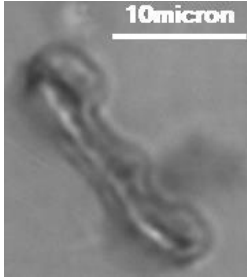
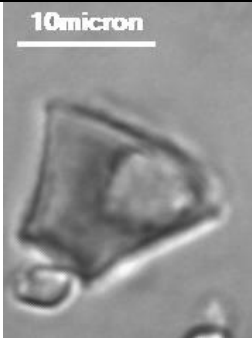

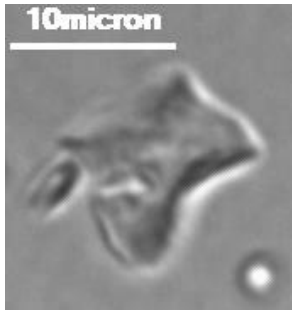
MORFOTIPOS DE FITÓLITOS- ZONA MODERNA (0 – 15 cm)

 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Block</i></p>	 <p><i>Cuneiform Bulliform</i></p>
 <p><i>Elongate</i></p>	 <p><i>Globular psilate</i></p>	 <p><i>Hair</i></p>
 <p><i>Hat shape</i></p>	 <p><i>Rondel</i></p>	 <p><i>Bilobate</i></p>
 <p><i>Parallepipedal sinuate bulliform cell (Chusquea)</i></p>		


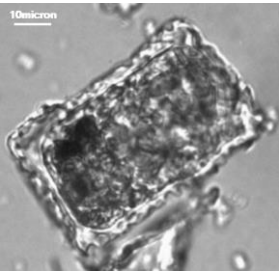
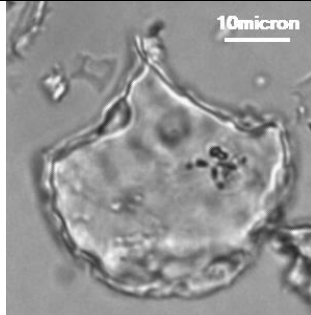
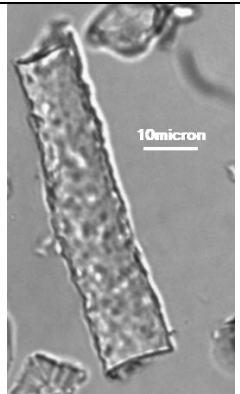
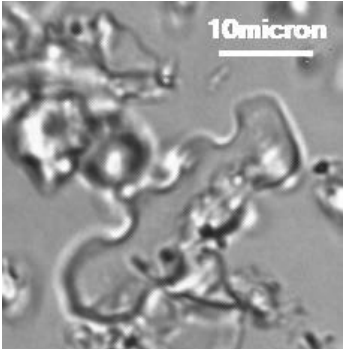
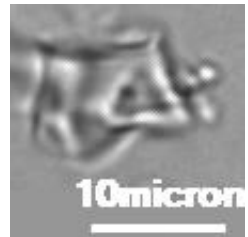
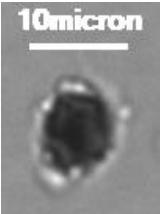

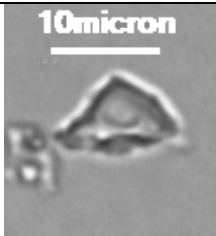



MORFOTIPOS DE FITÓLITOS - ZONA FITOLÍTICA II (15 – 30 cm)

 <p><i>Globular psilate</i></p>	 <p><i>Block</i></p>	 <p><i>Cuneiform Bulliform</i></p>	 <p><i>Trapeziform</i></p>
 <p><i>Hat shape</i></p>	 <p><i>Elongate</i></p>	 <p><i>Rondel</i></p>	 <p><i>Chusquea bulliform phytolith</i></p>
 <p><i>Saddle</i></p>	 <p><i>Saddle</i></p>	 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Tracheid</i></p>
 <p><i>Bilobate</i></p>			

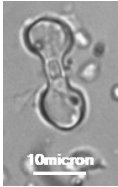


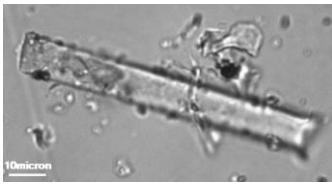
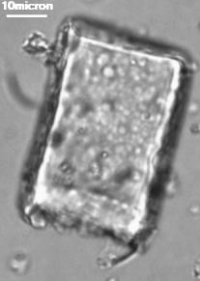
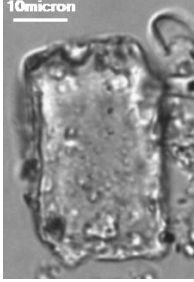
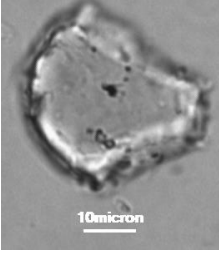
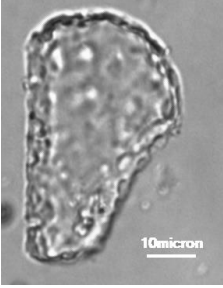
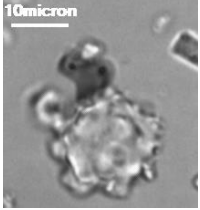
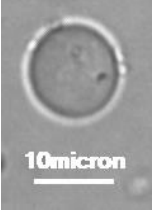
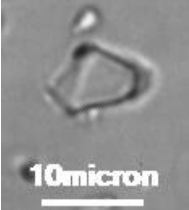
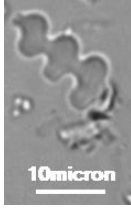

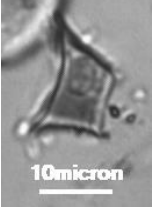

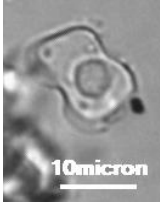

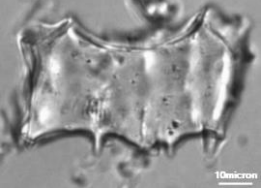
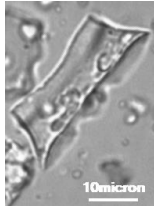
MORFOTIPOS DE FITÓLITOS- ZONA FITOLÍTICA DE TRANSIÇÃO (30 – 40 cm)

 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Block</i></p>	 <p><i>Cuneiform Bulliform</i></p>
 <p><i>Elongate</i></p>	 <p><i>Hair</i></p>	 <p><i>Polylobate</i></p>
 <p><i>Rondel</i></p>	 <p><i>Saddle</i></p>	 <p><i>Trapeziform short cell</i></p>

MORFOTIPOS DE FITÓLITOS- ZONA FITOLÍTICA I (40 – 80 cm)

 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Block</i></p>	 <p><i>Cuneiform Bulliform</i></p>
 <p><i>Elongate</i></p>	 <p><i>Polylobate</i></p>	 <p><i>Trapeziform short cell</i></p>
 <p><i>Globular rugose</i></p>	 <p><i>Globular psilate</i></p>	 <p><i>Hat shape</i></p>
 <p><i>Rondel</i></p>	 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Tracheid</i></p>

APÊNDICE 5 – MORFOTIPOS DE FITÓLITOS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Bilobate</i></p>	 <p><i>Elongate</i></p>
 <p><i>Block</i></p>	 <p><i>Parallelepipedal Bulliform</i></p>	 <p><i>Cuneiform Bulliform</i></p>	 <p><i>Cuneiform Bulliform</i></p>
 <p><i>Globular echinate</i></p>	 <p><i>Globular psilate</i></p>	 <p><i>Hat shape</i></p>	 <p><i>Elongate sinuate</i></p>
 <p><i>Polylobate</i></p>	 <p><i>Rondel</i></p>	 <p><i>Rondel</i></p>	 <p><i>Saddle</i></p>
 <p><i>Tracheid</i></p>	 <p><i>Parallelepipedal sinuate bulliform cell (Chusquea)</i></p>	 <p><i>Trapeziform Polylobate</i></p>	

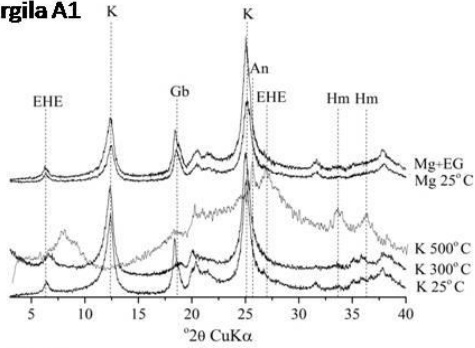
ANEXOS

ANEXO 1

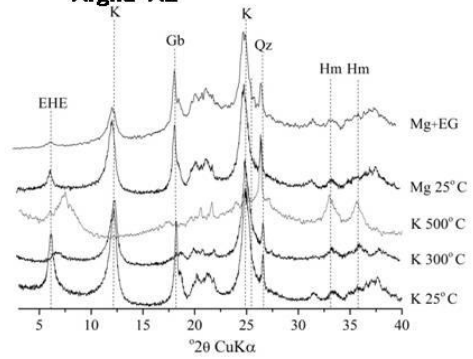
Mineralogia do CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico léptico latossólico.

Perfil Abelardo Luz

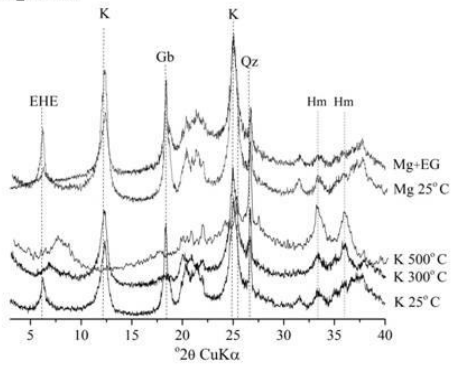
Argila A1



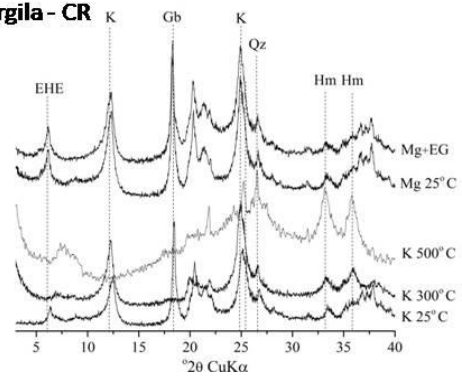
Argila- A2



Argila Bi

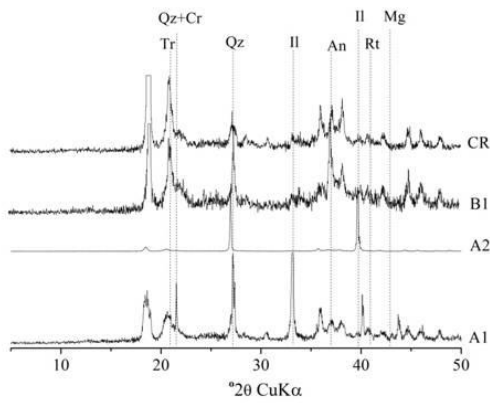


Argila - CR



Perfil Abelardo Luz

Silte



Silte

